



# MEMORIAS

*"Memorias del Tercer Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas"*

Universidad Nacional Autónoma de México  
Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental  
Antigua Carrera a Pátzcuaro 8701  
Col. Exhacienda de San José de la Huerta  
C.P. 58190, Morelia, Michoacán, México  
<http://www.ciga.unam.mx>

Morelia, Michoacán; Julio 2013

Diseño de portada: Víctor Loyola Juárez, La Tropa.

Integración de trabajos, diseño de interior y cuidado de edición Ricardo Aguilar, Ana Burgos, Raquel González, Estela Carmona y Eduardo Ríos

**Los trabajos de esta memoria han sido seleccionados por el comité científico de entre las contribuciones enviadas con base en sus resúmenes, pero no han sido sometidos a un proceso de revisión por pares.**

**SUS CONTENIDOS SON RESPONSABILIDAD ÚNICA DE SUS AUTORES.**

# MEMORIAS

## TERCER CONGRESO NACIONAL DE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS



Morelia, Michoacán

≈ 28, 29 y 30 de Agosto de 2013 ≈



## **COMITÉ ORGANIZADOR DEL III CONGRESO NACIONAL DE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

Presidente: Dr. Manuel Maass Moreno (CIEco – UNAM Campus Morelia)  
Coordinación general: Dra. Ana Burgos (CIGA – UNAM Campus Morelia)  
Coordinación de logística: MC. Estela Carmona Jiménez (CIGA – UNAM Campus Morelia)  
Coordinación técnica: M.I.T. Raquel González García (CIGA – UNAM Campus Morelia)  
Relaciones institucionales: MC Eduardo Ríos Patrón (SEMARNAT-Delegación Michoacán y Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas)  
Tesorería: C.P. Geraldly García Torres (CIGA – UNAM Campus Morelia)  
Vocales (alf.): MC. Rocío Aguirre (SUMA – Michoacán)  
Dra. Helena Cotler Ávalos (INECC-SEMARNAT)  
Sr. Eduardo Lombardi (Grupo Balsas, A.C.)  
Dra. Erna López Granados (IIM, UMSNH)  
Dr. Raúl Pineda López (Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, UAQ)  
Dr. Rubén Quinteros Sánchez (SUMA – Michoacán)  
Ing. Moisés Toledo (CONAGUA – Del. Michoacán)  
Dr. Fernando Villaseñor Gómez (Fac.de Biología, UMSNH)

### **COMITÉ CIENTÍFICO (alf.)**

MC. Rocío Aguirre (SUMA – Michoacán)  
Dr. Dante Ariel Ayala Ortiz (Facultad de Economía - UMSNH)  
MC. Karina Ruiz Bedolla (INECC – SEMARNAT)  
Dra. Verónica Bunge (INECC – SEMARNAT)  
Dra. Ana Burgos (CIGA – UNAM Campus Morelia)  
MC. Estela Carmona Jiménez (CIGA – UNAM Campus Morelia)  
Dra. Helena Cotler Avalos (INECC – SEMARNAT)  
M G. Gabriela Cuevas García (CIGA – UNAM Campus Morelia)  
Dr. José de Jesús Fuentes Junco (ENES – UNAM Campus Morelia)  
Dr. Alfonso Gutiérrez López (CIA-UAQ)  
Dra. Zoe Tamara Infante Jiménez (ININEE - UMSNH)  
Dra. Erna Martha López Granados (IIM – UMSNH)  
Dr. Manuel Maass Moreno (CIEco – UNAM Campus Morelia)  
M G. Luis Miguel Morales Manilla (CIGA – UNAM Campus Morelia)  
Dr. Carlos Francisco Ortiz Paniagua (ININEE– UMSNH)  
M C. Rosaura Páez Bistrain (CIGA – UNAM Campus Morelia)  
Dr. Ricardo Miguel Pérez Munguía (Facultad de Biología – UMSNH)  
M C Eduardo Ríos Patrón (SEMARNAT-Michoacán, y Red Mexicana de Cuencas)  
Dra. Pilar Saldaña Fabela (IMTA - SEMARNAT)  
MC. Neyra Sosa Gutiérrez  
Dr. Joaquín Sosa Ramírez (Universidad Autónoma de Aguascalientes)  
Dr. Fernando Villaseñor Gómez (Fac. de Biología – UMSNH)



Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas



FUNDACIÓN  
GONZALO RÍO ARRONTE, I.A.P.

Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA)



**CIGA**  
CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL  
U N A M



Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA)  
Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco)  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)



Universidad  
Autónoma de Querétaro  
**Maestría en Gestión  
Integrada de Cuencas**

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas (MAGIC)  
Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ)



Facultad de Biología  
Instituto de Investigaciones Metalúrgicas (IIM)  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
(UMSNH)

**SEMARNAT**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES

Secretaría de Medio Ambiente y  
Recursos Naturales (SEMARNAT)

**CONAGUA**  
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)



INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA  
Y CAMBIO CLIMÁTICO

Instituto Nacional de Ecología y Cambio  
Climático (INECC)



Gobierno del Estado de Michoacán de  
Ocampo



**Gobierno  
del Estado**  
2012 - 2015



Secretaría de  
Urbanismo y Medio  
Ambiente

Secretaría de Urbanismo y  
Medio Ambiente (SUMA-  
Michoacán)



**Comisión Estatal  
de Aguas y Gestión  
de Cuencas**  
Gobierno del Estado  
2012-2015

Comisión Estatal de Aguas y  
Gestión de Cuencas  
(CEAGC)



**Secretaría  
de Pueblos  
Indígenas**  
Gobierno del Estado  
2012-2015

Secretaría de Pueblos  
Indígenas (SPI)

**FIPROTUR OCV** Michoacán

Fideicomiso de Promoción Turística  
(FIPROTUR)  
Oficina de Congresos y Visitantes (OCV)



**Grupo Balsas**  
para Estudio y Manejo  
de Ecosistemas A.C.

Grupo Balsas A.C.



Siendo el agua indispensable para el desarrollo económico y social, ésta constituye un recurso natural ampliamente competido y comprometido en una gran parte del territorio nacional. La cuenca hidrográfica, definida con criterios geomorfológicos, integra la dinámica natural del agua a escalas del paisaje, por lo que el manejo de tan importante recurso hidrológico sólo es posible en el contexto de esta unidad territorial. El hombre y la naturaleza integran una unidad funcional de corte socio-ecosistémico en la que la conducta de sus habitantes debe armonizarse con la dinámica funcional del sistema ecológico que lo sustenta. Como bien dice Ricardo Rozzi, es urgente este re-acoplamiento de la triada hábito-habitante-hábitat, e indispensable en nuestro transitar hacia la sustentabilidad. El manejo integrado de cuencas hidrográficas es un claro camino para lograrlo. La Red Mexicana de Manejo de Cuencas se creó con la misión de promover esta visión y enfoque de cuenca en nuestro país. Uno de sus principales objetivos es el de “promover y facilitar el intercambio y transferencia de información y conocimientos entre sus miembros” y la realización de este III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas que ahora nos ocupa fue un importante mecanismo para lograrlo.

Es también un interés central en la Red “facilitar la más amplia participación de todos los sectores públicos y sociales” por lo que el Comité Organizador del Congreso hizo un gran esfuerzo por armar un evento verdaderamente transversal. Para ello se echó mano de una diversidad de formatos que aseguraran la participación e interacción entre los diferentes participantes. Es decir, el congreso no se limitó a las acostumbradas ponencias y carteles, sino que además incluyó mesas de debate intersectorial, sesiones de integración por cuencas, talleres de trabajo, exposición de servicios y productos para el buen manejo de cuencas y, por primer a vez, un Foro Comunitario de Intercambio de Experiencias en el que participaron miembros de comunidades campesinas e indígenas de diferentes estados. Así mismo, y para revestir académicamente el evento, en esta ocasión se contó con la presencia de cuatro académicos destacados, dos nacionales y dos extranjeros, quienes dictaron conferencias magistrales directamente ligadas a los temas de la reunión. Es importante mencionar que, como en años anteriores, el congreso contó con el generoso apoyo económico de la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., el cual es un actor de la iniciativa privada verdaderamente interesado en la problemática del agua en México. Ello permitió cubrir los gastos de nuestros invitados internacionales, además de reducir substancialmente el costo de inscripción al evento, y contar con los recursos necesarios que posibilitaron la participación de diversos sectores sociales.

Como antesala del congreso y con el objetivo de dar a conocer y estimular la participación de amplios sectores sociales al evento, desde mayo pasado y con el liderazgo del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU) de la SEMARNAT, siete instituciones se coordinaron para realización de un ciclo de conferencias sobre diversos temas relacionados con las “*Cuencas Hidrográficas de México, Retos y Prioridades Para su Manejo y Gestión*”. Las pláticas fueron transmitidas por videoconferencias en un gran número de localidades del país, incluyendo las Delegaciones Federales de la SEMARNAT e instituciones educativas y gubernamentales pertenecientes a nuestra Red. Así mismo, y como actividad académica previa al Congreso, se realizó el IV Coloquio de Geografía Ambiental con el tema “*Contribuciones del pensamiento geográfico al enfoque de Cuenca*”, el cual se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) del Campus de la UNAM en Morelia, en los días previos al Congreso.

Como escenario del III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas, se eligió la Ciudad de Morelia, capital de uno de los estados más ricos en ambientes naturales y, por tanto, de diversidad biológica y cultural de nuestro país. La ciudad no sólo es Patrimonio de la Humanidad por su belleza arquitectónica, sino además es sede de importantes centros académicos universitarios como la Universidad Michoacana y la Universidad Nacional Autónoma de México. El apoyo de esta última, con su Campus en Morelia y como institución académica sede del evento, y el involucramiento activo de instituciones de gobierno y sociales que colaboraron codo a codo para la organización del congreso, fue clave para conformar el programa y el armado de las múltiples actividades que se realizaron.

La selección de los trabajos científicos se hizo de manera cuidadosa, con la labor de un Comité Científico integrado por 15 académicos de 9 instituciones diferentes. Así, se logró armar un programa muy completo en el que durante tres días y en las 10 diferentes mesas de discusión, en su conjunto, abordaron prácticamente todos los aspectos relevantes al manejo de cuencas y la gestión de sus recursos; desde el entendimiento de los procesos biofísicos hasta el monitoreo de los efectos e impactos en el manejo de la cuenca, pasando por: el análisis de procesos ecohidrológicos; los instrumentos de planeación; las herramientas técnicas para el soporte a la toma de decisiones; el análisis de los procesos sociales, educativos y económicos; las políticas públicas; la articulación institucional y construcción de consensos; y los factores de riesgos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Todo ello con el enfoque y la perspectiva de cuencas hidrográficas.

El Comité Organizador del III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas se propuso armar una reunión lo más incluyente, informativa y estimulante posible y el material incorporado en estas memorias son una evidencia clara del éxito que tuvo dicho cometido. Agradezco a los miembros del Comité su entrega y dedicación al proceso y felicito a la Red en su conjunto por los logros obtenidos en tan importante evento.

Dr. Manuel Maass Moreno  
Presidente del Comité Organizador  
III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas  
Morelia, 2013



**MESA I** MODELOS Y ANÁLISIS DE PROCESOS BIOFÍSICOS A NIVEL DE CUENCA

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartografía del suelo para la identificación de unidades hidroedáficas funcionales en una cuenca de montaña: conceptos y propuesta metodológica <i>Daniel Geissert, Alberto Gómez-Tagle Chávez, Luis Martínez Hernández, Enrique Meza Pérez y Estela Enríquez Fernández</i> .....</li> </ul>	I – 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservación de suelos en ambientes semi-áridos, una propuesta para la Microcuenca La Joya <i>Guillermina Barrientos Rivera y Helena Cotler Ávalos</i> .....</li> </ul>	I – 13
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidropedología y memoria edáfica; estructura 3D de la red de macroporos del suelo de bosque mesófilo y sus ambientes transformados del Centro de Veracruz <i>Rafael Morales Chávez, Alberto Gómez-Tagle Chávez, Daniel Geissert Kientz, Isabelle Barois Boullard y Alberto Gómez-Tagle Rojas</i> .....</li> </ul>	I – 19
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategias para la conservación de suelos en la microcuenca San Ildefonso, Querétaro: caso de una parcela demostrativa <i>Oscar Segura Ramírez, Oscar Ricardo García Rubio y Milagros Cordova Athanasiadis</i> .....</li> </ul>	I – 29
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lecciones aprendidas en la conservación de suelos en la Cuenca Alta del Río Conchos <i>J. Alfredo Rodríguez-Pineda, Iván Grijalva y Eugenio Barrios Ordóñez</i> .....</li> </ul>	I – 39
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una relación de indicadores y claves analíticas del relieve como una aproximación al conocimiento de la estructura espacial de las vertientes: Caso de estudio, un sector de la vertiente externa de la Sierra Madre Oriental <i>Mario Arturo Ortiz Pérez y Rita Minerva García Fortis</i> .....</li> </ul>	I – 49
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia predictiva de modelos hidrológicos para cuencas poco instrumentadas <i>Gerardo Esquivel Arriaga, Palmira Bueno Hurtado, Ignacio Sánchez Cohen, Miguel Agustín Velásquez Valle y Gerardo Delgado Ramírez</i> .....</li> </ul>	I – 57
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización ambiental de Escurrimientos (barrancas) de la cuenca alta del Río Zahuapan, Tlaxcala, México <i>Miguel Francisco Carreón Coca, Juan Suárez Sánchez y S. Chamizo Checa</i> .....</li> </ul>	I – 63
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis comparativo de los métodos hidrológicos aplicados en la norma de caudal ecológico <i>María Antonieta Gómez Balandra, Sergio Rodríguez Torres y Pilar Saldaña Fabela</i> .....</li> </ul>	I – 71
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comportamiento de los sólidos en suspensión y sedimentables en cuerpos de agua: búsqueda de métodos aplicables al monitoreo comunitario <i>Leopoldo Gómez Sandoval, Rosaura Páez Bistrain y Adriana Flores-Díaz</i> .....</li> </ul>	I – 85
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación física, química y biológica del agua del Río Atoyac en la microcuenca de la Reserva Estatal Sierra del Tentzo, Puebla <i>Yesenia Rodríguez López, Anabella Handal, Moisés Carcaño Montiel, Ernesto Mangas, Gladys Linares Fleites, Sonia Emilia Silva Gómez y Lucía López Reyes</i> .....</li> </ul>	I – 95

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelado hidrológico en una cuenca urbana: análisis del escurrimiento bajo diferentes escenarios de cambio y uso de suelo <i>Sergio Esquivel Puente, Víctor Hugo Guerra Cobián y Adrián Leonardo Ferríño Fierro</i></li> </ul>	I – 107
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redistribución de escorrentía y sedimento en laderas de paisajes semi-áridos usando un modelo espacialmente explícito <i>Carlos Muñoz-Robles, Matthew Tighe, Nick Reid; Paul Frazier, Sue V. Briggs y Brian Wilson</i></li> </ul>	I – 117
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaró, Pátzcuaro, Michoacán, Méx. <i>Juan Carlos Álvarez Santis, Alfredo Amador García y Rubén Ignacio Huerto Delgadillo</i></li> </ul>	I – 127
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribución espacial de la condición hidrológica del suelo (SCS-USDA) al escurrimiento superficial de una pequeña cuenca semiárida <i>Miguel Agustín Velásquez Valle, Ignacio Sánchez Cohen, Gerardo Esquivel Arriaga, Palmira Bueno y Jesús A. Muñoz Villalobos</i></li> </ul>	I – 139
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimación de la carga de sedimentos en suspensión del dren Tzurumútaró al Lago de Pátzcuaro, Michoacán, Méx. <i>José Álvaro San Agustín, Rubén Ignacio Huerto Delgadillo y Alfredo Amador García</i></li> </ul>	I – 147
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulación de la precipitación pluvial de la cuenca del Río Zahuapan, México y su relación con el niño/oscilación del sur. <i>Juan Suárez Sánchez, Silvia Chamizo Checa, Walter Ritter Ortiz, Claudian Cortés Piedras</i></li> </ul>	I – 161
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelado de la Cuenca de Pátzcuaro <i>Isabel Quintas</i></li> </ul>	I – 173
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo del agua en la Microcuenca Palos Prietos con presencia de <i>Ambystoma Ordinarium</i> (Taylor 1939), Morelia, Michoacán. <i>Marina Barajas Arroyo, Adriana Flores-Díaz, Jesús Fuentes Junco y Pablo Zárate Segura.</i></li> </ul>	I – 187
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comportamiento de la Cuenca de Pátzcuaro y planeación del manejo futuro Isabel Quintas.</li> </ul>	I – 199
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aproximación Holística para el manejo integrado de las Cuencas y el caudal ecológico: Estudio de caso. <i>Rebeca Gonzalez-Villela</i></li> </ul>	I – 207

## **MESA II** ECO HIDROLOGÍA, AMBIENTES RIBEREÑOS Y ACUÁTICOS EN EL CONTEXTO DE CUENCAS

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de zonas prioritarias con fines de recuperación de vegetación riparia en las subcuencas del sistema Cutzamala <i>Daniel Iura González, Pablo Gesundheit, Arturo Garrido, Carlos Enríquez y Helena Cotler</i></li> </ul>	II – 3
---	--------

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comparación hidrográfica, hidrológica y fisiográfica entre las cuencas del sistema Grijalva – Usumacinta <i>Gloria Espiritu Tlatempa y Rocío Rodiles Hernández</i> .....</li> </ul>	II – 15
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modificaciones temporales y espaciales en el cauce del Río Usumacinta, Chiapas <i>Gloria Espiritu Tlatempa, Miriam Soria Barreto y Rocío Rodiles Hernández</i> .....</li> </ul>	II – 21
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Influencia de la geomorfología sobre la diversidad de peces en la Cuenca Tepalcatepec-Infiernillo, México <i>Martina Medina-Nava, Ricardo Pérez-Munguía, Ulises Torres-García y Miguel Ángel García-Velázquez</i> .....</li> </ul>	II – 29
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revegetación natural: ¿Mayor infiltración en una cárcava? <i>Javier Rodríguez Rodríguez, Alberto Gómez-Tagle Chávez y Dulce María Rosas Rangel</i> .....</li> </ul>	II – 39
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La vegetación ribereña en la Cuenca de los Ríos Ayuquila-Armería <i>Claudia Ortiz-Arrona, Marta González del Tánago y Diego García de Jalón</i> .....</li> </ul>	II – 49
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Humedales artificiales. Una alternativa al tratamiento de aguas residuales para pequeñas localidades: Caso de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro <i>Juan G. García Maldonado, Indira Y. López Cortés y Carlos González Aguirre</i> .....</li> </ul>	II – 61
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El perifiton su riqueza específica y distribución en la alberca de Teremendo Michoacán, México <i>María del Rosario Ortega Murillo, Octavio Vasquez Jarquín, Reyna Alvarado Villanueva, Rubén Hernández Morales y Marisol Martínez Martínez</i> .....</li> </ul>	II – 71
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Propiedades Hídricas, edáficas y flora vascular de ambientes ribereños en la región oriental de la Cuenca de México, en el parque Nacional Iztapopo y su área de influencia. Gerardo Cruz–Flores, Eloisa A. Guerra–Hernández, Jorge Etchevers B. y Mitzi Y. Ayala Campos.</li> </ul>	II – 79

**MESA III HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS DE SOPORTE A LA TOMA DE DECISIONES PARA EL MANEJO DE CUENCAS**

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uso de herramientas informáticas para la caracterización geomorfológica de cuencas hidrográficas <i>Hugo González Lara, Luis Gerardo Arvizu Cobos y Miguel Ángel Domínguez Cortázar</i>.....</li> </ul>	III – 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aplicación práctica de instrumentos de geomática en hidrología de cuencas y acuíferos <i>Guisselle Eunice Arauz Morón, Juan Pablo del Conde Guadalajara y Jorge Omar Reyes Hernández</i> .....</li> </ul>	III – 15
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aplicabilidad del software GD CLIMEX para los estudios hidrológicos efectuados en México</li> </ul>	

<i>Fidelmar Merlos Villegas, Sonia Sánchez Quispe, Manuel Servín Arreygue y Benjamín Lara Ledesma</i> .....	III – 25
• Creación de una base de datos geográfica de agua superficial en la región hidrológica del Río Santiago <i>Jaime Rivera Benites, Ben-Hur Ruiz Morelos, Carlos Patiño Gómez, Jaime Velázquez Álvarez, Guillermo Vargas Rojano y José Federico Santos Solís</i> .....	III – 33
• Evaluación de la gestión de datos para estudios hidrológicos <i>Fidelmar Merlos Villegas, Sonia Tatiana Sánchez Quispe, Jorge Alfonso Almanza Campos y Constantino Domínguez Sánchez</i> .....	III – 43
• Análisis comparativo de los modelos hidrológicos SWAT y patricial <i>Alejandra Correa González, Sonia T. Sánchez Quispe y Mario Alberto Hernández Hernández</i> .....	III – 55
• Modelación del acuífero Morelia-Querendaro con aquival. Julio Cesar Solís de la Paz, Sonia Tatiana Sánchez Quispe y Joel Hernández Bedolla.	III – 61

#### **MESA IV** PROCESOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y EDUCATIVOS EN EL CONTEXTO DE CUENCAS COMPLETAS

• Centro Regional de Capacitación en Cuencas La Joya, Qro. Un modelo Pedagógico Multidisciplinario <i>José Antonio Carvajal Galván y María del Carmen Gilio Medina</i> .....	IV – 3
• Diseño de material didáctico-educativo para la enseñanza de buenas prácticas en el manejo integrado de cuencas, una propuesta con base en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) <i>Salomón Aguilar y María del Carmen Gilio Medina</i> .....	IV – 13
• Tensiones socio-políticas por la redistribución y saneamiento del agua en la cuenca urbanizada del río Apatlaco-Morelos <i>Sergio Vargas Velázquez y Cipriana Hernández Arce</i> .....	IV – 23
• Apropiación territorial y recursos hídricos: ¿infraestructura o instituciones? El caso de dos cuencas rurales semiáridas. <i>Oscar Salvatore, Ana Burgos y Joaquín Sosa</i> .....	IV – 33
• Gestión del agua desde la perspectiva histórica. El caso de abastecimiento de agua a la Ciudad de San Luis Potosí 1831-1883 <i>Yuritzi Hernández Fuentes</i> .....	IV – 47
• Asequibilidad del servicio de agua potable: una nueva dimensión del problema hídrico en México <i>Armando Aldama Nalda y Frida L. Arreola</i> .....	IV – 59
• Manejo y aprovechamiento del nopal ( <i>Opuntia</i> spp.) en la rehabilitación de funciones de la microcuenca La Joya <i>Ma. Elena López Ramírez, Diana Elisa Bustos Contreras, Verónica Mendiivil, Miriam</i>	

<i>Estelina Pérez Ríos, María Elena Delgado Ibarra y Marcos Rodríguez Sánchez</i> .....	IV – 85
• Agroecología y organización comunitaria del territorio <i>Lucio Jacinto Díaz Marielle, Catherine Marielle Meyer, Manuel López Alavéz, Adriana Alarcón Alavés, Pío Chávez Segura, Álvaro Flores Castro, Cristina Rendón Godínez, Carolina Hernández Moreno y Santiago Villanueva Navarrete</i> .....	IV – 95
• Implementación de Ordenamiento Territorial Comunitario: una estrategia participativa para el manejo de los recursos hídricos en el Ejido de Tumbisca, Mich. <i>Carla Suarez Reyes, José de Jesús Fuentes Junco, Pablo Zarate Segura y Jorge de la Torre</i> .....	IV - 107
• Procesos sociales y desarrollo rural en la microcuenca Guadalupe Victoria, Saltillo, Coahuila <i>Lorenzo A. López Barbosa, Rita Carmen Favret Tondato y Griselda Valdés Ramos</i> .....	IV - 117
• Gestión participativa en la cuenca del Río Valles, oriente de México <i>Hugo Ferney Leonel, Miguel Aguilar Robledo y Pedro Medellín Milán</i> .....	IV- 129
• Desertificación del territorio y del espacio social. Los procesos intangibles en la intervención para la Gestión Integrada de Cuencas en Mesa de Escalante <i>Gabriela Barrera Aguirre y Patricia Roitman Genoud</i> .....	IV - 141

## **MESA V** POLÍTICAS PÚBLICAS, ARTICULACIÓN INSTITUCIONAL Y CONSTRUCCIÓN DE CONSENSOS

• Construcción de consensos para la gestión del agua en comunidades campesinas de la Montaña de Guerrero <i>Pilar Morales, Nicasio Corrales, Rubén Sánchez, Rafael Mota, Felipe Chana y Catarina Illsley</i> .....	V – 3
• Tres cuencas; dieciséis historias. Experiencias del GEA en el acompañamiento a comunidades para el manejo sustentable del agua y los recursos naturales <i>Catarina Illsley, Pilar Morales, Nicasio Corrales, Felipe Chana, Guadalupe Hernández y Emilia Pool</i> .....	V – 13
• El Consejo de Cuenca Lerma Chapala, un análisis de la participación de los grupos de interés en la toma de decisiones <i>Julieta Díaz Rosillo</i> .....	V – 25
• La construcción de un mecanismo de compensación por servicios ambientales en la subcuenca del Río Pixquiac, Veracruz: lecciones aprendidas <i>Luisa Paré y Tajín Fuentes</i> .....	V – 35
• La AIPROMADES, sinergias y alianzas estratégicas para la sustentabilidad de la Cuenca del Lago Chapala <i>María Isabel López Ribera y Ofelia Pérez Peña</i> .....	V – 47

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hacia la instrumentación de políticas ambientales con enfoque de paisaje: construcción de acuerdos institucionales en la Cuenca del Río Cupatitzio, Michoacán <i>Faustino Gómez Sántiz, Hilda Guerrero García-Rojas y Ángeles Alberto Villavicencio</i></li> </ul>	V – 59
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciativa público-privada para la adaptación al cambio climático con enfoque de cuencas en la Sierra Madre de Chiapas, México <i>Walter López, Itzel Castro Mendoza, Robertony Camas Gómez, Jaime López Martínez y Bernardo Villar Sánchez</i></li> </ul>	V – 85
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de la gestión ambiental federal en la Cuenca Lerma-Chapala. <i>Helena Cotler, Carlos Enríquez y Karina Ruíz</i></li> </ul>	V – 99

## **MESA VI** GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de las sequías hidrológicas en la cuenca del Río Bravo (sección mexicana) <i>David Ortega-Gaucin</i></li> </ul>	VI - 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión comunitaria de los recursos hídricos locales en cuencas rurales estacionales del Bajo Balsas (Michoacán) <i>Ana Burgos</i></li> </ul>	VI – 19
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de disponibilidad de agua en el tramo del Río Pánuco ubicado entre las estaciones hidrométricas Las Adjuntas y Pánuco <i>Gerardo Sánchez Torres, Harim Ruíz Delgado, Rocío Vargas Castillo y Miguel Ángel Haces Zorrila</i></li> </ul>	VI – 35
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planeación hídrica de largo plazo en el Consejo de Cuenca del Altiplano <i>Israel Velasco</i></li> </ul>	VI – 45
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo organizativo para la gestión integral de la Cuenca del Río Duero, Michoacán <i>José Luis Pimentel Equihua y Martha A. Velázquez Machuca</i></li> </ul>	VI – 59
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis, selección y diagnóstico de cuencas mexicanas para su integración a programas internacionales de gestión del agua <i>Nahún H. García Villanueva y Leonardo Hernández Barrios</i></li> </ul>	VI – 69
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reservas de agua para la protección ecológica de las cuencas de los ríos Copalita, Coyula y Zimatán, Oax. <i>Ignacio D. González-Mora</i></li> </ul>	VI – 81
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La gestión del agua de la Zona Metropolitana de Toluca: propuesta de análisis sistémico para la identificación de aspectos estratégicos de sostenibilidad <i>Luis R. Manzano Solís, Marcela V. Santana Juárez, Elsa Mirella rosales Estrada y Roberto Franco Plata</i></li> </ul>	VI – 93

- Evaluación de la sostenibilidad de los ríos Santa Catarina y La Silla, mediante un Índice de Sostenibilidad de Cuencas  
*Jaime D. Castro López y Víctor Hugo Guerra Cobian* ..... VI – 103
- Problemática de manejo de los recursos hídricos de la comunidad de Zoncuantla, Coatepec, Ver.  
*Eduardo Aranda Delgado, Fernando Sornes y Rolf Kral* ..... VI – 117

## **MESA VII INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN PARA EL MANEJO DE CUENCAS**

- Herramienta geográfica para la caracterización de cuencas hidrográficas  
*José Alberto Balancán*  
*Luis R. Manzano Solís, Marcela V. Santana Juárez y Roberto Franco Plata* ..... VII – 3
- Instrumentos de planeación municipal como apoyo a la gestión del agua en la Cuenca Presa Guadalupe  
*Elena Carina Gutiérrez Díaz* ..... VII – 13
- Aplicación metodológica para identificar las microcuencas del Estado de Aguascalientes  
*Jorge Alfonso Martínez de Anda* ..... VII – 27
- Aplicación de la Tarjeta de Evaluación de Cuencas Hidrográficas en doce cuencas del Estado de Chiapas, México  
*Adriana Alicia Quiroga Carapia* ..... VII – 41
- Otra oportunidad para el río Sabinal en Chiapas: Un Plan de Manejo Estratégico  
*Raúl Pineda López, Milagros Córdova Athanasiadis, Ricardo Pérez Munguía, Hugo Luna Soria, Oscar García Rubio, Idolina Molina y Alba Díaz Pereira* ..... VII – 53
- Incorporación del enfoque del manejo de cuencas en los ordenamientos ecológicos regionales  
*Verónica Bunge, Helena Cotler y Daniel I. González* ..... VII – 63
- El ordenamiento ecológico como instrumento para recuperar la integralidad de las cuencas hidrográficas: experiencias en la Región Ciénega de Chapala, Jalisco  
*Luis Gabriel Torres González, Ofelia Pérez Peña, Armando Chávez Hernández y Carlos Enríquez* ..... VII – 71

**MESA VIII** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE MONITOREO CON ENFOQUE DE CUENCA

- Monitoreo comunitario de calidad del agua: retos y aprendizaje desde la perspectiva de Global Water Watch-México.  
*Adriana Flores-Díaz, Miriam Ramos-Escobedo, Robert Manson, S. Ruiz-Córdoba, G. Vidriales, W. Deutsch y E. Aranda* ..... VIII – 3
- Enfoque sistémico aplicado al monitoreo participativo del agua en cuencas completas: estudio de caso en el Bajo Balsas  
*Rosaura Páez, Ana Burgos, Hilda Rivas y Estela Carmona* ..... VIII – 17
- Monitoreo de manantiales un método participativo en la planeación y construcción de acuerdos comunitarios.  
*Yoali Reyes Muñoz, Rafael Organista Mota y Ramón Vargas* ..... VIII – 33
- Esfuerzo multisectorial impulsa la construcción de la Red Comunitaria de Monitoreo del Agua en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca  
*Anastacio Sarmiento Sánchez, Angélica Murillo García, G. Segundo Sánchez, A. Sánchez García, E. García Medina, M. Nava Moreno, L. Gutiérrez Morales, J. García García, O. Vázquez Espinosa, A. Gutiérrez Nuñez, I. Ramírez Ramírez, R. Páez Bistrain, K. Lemus Ramírez, F. Martínez Meza, R. Zubieta Hernández, N. Velázquez Ríos, F. López Martínez, S. Lugo Olguín y E. García Serrano* ..... VIII – 51
- La microcuenca del Río Magdalena, un referente de estudios socioambientales en la Cuenca de México.  
*Enrique Cantoral, Lucía Almeida, Javier Álvarez, Victor Ávila, G. Barajas, J. Carmona, S. Castillo, J. Cifuentes, T. González, J. Jujnovsky, L. León, A. Nieto y A. Ramos* ..... VIII – 63
- Evaluación de los efectos socio-ambientales de los programas de conservación en la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, México  
*Maria Perevochtchikova e Iskra Rojo* ..... VIII – 71

**MESA IX** IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE LA DINÁMICA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

- Cuencas de la Bahía de Navidad, Jalisco, México: caracterización hidrográfica y diagnóstico  
*José Mariscal Romero Tunuari, Roberto Chávez González y Judith Arciniega Flores* ... IX – 3
- Estimación de la modificación de la escorrentía debido al cambio de uso de suelo de la Cuenca Atoyac de Oaxaca a través de un SIG  
*Diana R. Villarreal Hernández, Héctor Martínez Valdés y Salvador I. Belmonte Jiménez* ..... IX – 13



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación cuantitativa de la erosión en parcelas delimitadas de la microcuenca de San Andrés Azumitla, Puebla <i>Leticia C. López Teloxa, Rosalía Castelán Vega y J. Víctor Tamaríz Flores</i> .....</li> </ul>	IX – 21
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectos del uso del suelo sobre la tasa de erosión en una cuenca de montaña con bosque dominante <i>Daniel Geissert, Sarai Sánchez Silva, Luis Martínez Hernández y Alberto Gómez-Tagle Chávez</i> .....</li> </ul>	IX – 35
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios morfológicos del terreno en la Cuenca de El Ahogado causados por la expansión del Área Urbana de Guadalajara <i>José de Jesús Díaz Torres, Gustavo Dávila-Vázquez, Elizabeth León Becerril, Juan Gallardo Valdez y Alberto López López</i> .....</li> </ul>	IX – 45
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Patrones alimenticios y procesos socio-ecológicos en la comunidad de Xocoyoltzintla, Guerrero <i>Gabriela Martínez Flores</i> .....</li> </ul>	IX – 57
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis cuantitativo del mercurio en cultivos de importancia económica en la microcuenca San Joaquín <i>Liliana Jazmín, Juan Campos Guillen y Gilberto Hernández Silva</i> .....</li> </ul>	IX – 67
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de la frontera agrícola en cuencas hidrológicas mediante el uso de sistemas de información geográfica y sensores remotos <i>Santiago Jaimes G., Braulio D. Robles R., Ramiro Vega N., Mario Villarreal P., Jorge González M., Mauro Ñíguez C.</i> .....</li> </ul>	IX – 79

**MESA X** RIESGOS, VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO CON ENFOQUE DE CUENCA

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Validación de la información hidrométrica para la determinación de avenidas de diseño. Caso de estudio: P.H. Las Cruces, Nay. <i>Víctor Morales Méndez y Adriana Santos Pérez</i> .....</li> </ul>	X – 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de la temperatura en el Río Grande de Morelia debido al cambio climático (evidencia y escenarios de proyección) <i>Joel Hernández Bedolla, Sonia T. Sánchez Quispe y Constantino Domínguez Sánchez</i> .....</li> </ul>	X – 15
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión de los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad del agua en la subcuenca del Río Grande de Morelia <i>Joel Hernández Bedolla, Sonia T. Sánchez Quispe y Constantino Domínguez Sánchez</i> .....</li> </ul>	X – 27
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riesgos climáticos, medios de vida y estrategias de adaptación en la cuenca superior del río Huehuetán, Chiapas <i>Luz Elena Ruiz Meza, José Luis Arellano Monterrosas</i> .....</li> </ul>	X – 41

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de vulnerabilidad y costos de adaptación al cambio climático. Caso del sistema de agua municipal de la Ciudad de Mexicali <i>Héctor D. Camacho González</i> .....</li> </ul>	X – 55
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riesgo a deslizamientos en laderas de siete microcuencas de la Reserva de la Biósfera El Triunfo <i>Walter López Baez, Reynol Magdaleno González, Itzel Castro Mendoza</i> .....</li> </ul>	X – 69

MODELOS Y ANÁLISIS DE PROCESOS BIOFÍSICOS A NIVEL DE CUENCA



# CARTOGRAFÍA DEL SUELO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROEDÁFICAS FUNCIONALES EN UNA CUENCA DE MONTAÑA: CONCEPTOS Y PROPUESTA METODOLÓGICA

Daniel GEISSERT <sup>a</sup>, Alberto GÓMEZ-TAGLE CHÁVEZ <sup>b</sup>, Luis MARTÍNEZ HERNÁNDEZ <sup>a</sup>, Enrique MEZA PÉREZ <sup>a</sup>, Estela ENRÍQUEZ FERNÁNDEZ <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Ecología, A.C., Apdo. Postal 63, 91070 Xalapa, Ver., daniel.geissert@inecol.edu.mx

<sup>b</sup> INIRENA-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich.

<sup>c</sup> Universidad Veracruzana, Facultad de Economía y Geografía, Xalapa, Ver.

## RESUMEN

La resolución de problemas de manejo de recursos naturales en cuencas hidrográficas, tales como el abastecimiento de agua potable, la disposición de aguas residuales, las inundaciones y la protección de humedales, requiere entre otros, de información edáfica adecuada y útil. Los mapas convencionales de suelos generalmente carecen de la información necesaria para enfrentar tales desafíos. Por tal motivo, se introduce el concepto de Unidades Hidroedáficas Funcionales (UHF) como procedimiento cartográfico para representar las funciones hidroedáficas de una cuenca. Las UHF son unidades cartográficas únicas a una escala determinada, basadas en las interacciones, a lo largo de toposecuencias de suelos, entre propiedades edáficas (horizontes, pedón, polipedón) y procesos hidrológicos (infiltración, conductividad hidráulica, retención de agua, escorrentía, intercepción, evapotranspiración). Se toma como ejemplo la subcuenca montañosa del río “Los Gavilanes” (Coatepec, Ver.; 4,130 ha; 1,090-2,960 msnm), se presenta el marco conceptual-metodológico, así como los pasos a seguir para la obtención de UHF a escala 1:20,000. El método se basa tanto en técnicas cartográficas diversas que incluyen los análisis geomorfométrico y geomorfológico dentro de un ambiente de sistema de información geográfica, como en mediciones *in situ* con instrumentos apropiados y la incorporación de datos analíticos de suelo en funciones de pedo-transferencia. El resultado es la división de la subcuenca en unidades hidroedáficas con funciones similares de almacenamiento, flujo y recorrido del agua en el suelo.

**Palabras clave:** Hidroedafología, modelación hidrológica, cartografía.

## 1 INTRODUCCIÓN

En los mapas convencionales de suelos se representan unidades con propiedades edáficas similares y su cartografía sigue reglas y enfoques bien establecidos, sin embargo, las unidades cartografiadas carecen del énfasis sobre las propiedades funcionales de los suelos, lo que limita su uso en la modelización del funcionamiento hidrológico de una cuenca y obliga a generalizaciones en la estimación de las propiedades hidroedáficas.

La Hidroedafología como nueva disciplina, propone integrar los paradigmas de pedón y paisaje con los fenómenos que ocurren a diferentes escalas, desde lo microscópico (poros y agregados), pasando por lo mesoscópico (pedón y catena), hasta lo macroscópico (cuenca, región, global). El concepto unificador propuesto por Lin *et al.* (2006) es el flujo de agua en el paisaje (*landscape water flux*), el cual comprende la fuente, almacenamiento, flujo, recorridos, tiempo de residencia, disponibilidad y distribución espacio-temporal del agua en la zona vadosa. Este concepto fue propuesto para integrar de manera más eficiente la experiencia

del edafólogo y del hidrólogo, y establecer un puente entre ambas disciplinas, pero en la práctica existen pocos casos en los cuales se ha llegado a definir dominios hidroedáficos cartografiables.

Los edafólogos han hecho grandes esfuerzos de investigación para caracterizar la variabilidad espacial de las propiedades del suelo a diferentes escalas (Hengl, 2003; Sobieraj *et al.*, 2004; Zimmermann *et al.*, 2006; Zimmermann y Elsenbeer, 2008). Los enfoques propuestos pueden clasificarse en continuos y discretos. Los primeros consideran a las propiedades del suelo como continuas en el espacio y las modelan en forma determinística (*i.e.* mediante regresiones entre propiedades del suelo y factores ambientales conocidos), estocástica (mediante técnicas geoestadísticas) y mixta entre ambas. Como alternativa al enfoque continuo, el discreto divide el paisaje en unidades más pequeñas, cuya justificación teórica es que en el terreno existen distintos dominios espaciales donde ocurren procesos simultáneos hidrológicos, pedológicos y geomorfológicos (Hengl, 2003; Pachepsky *et al.*, 2006; Xiao-Yan Li *et al.*, 2009). A nivel regional o de cuenca, la Unidad de Respuesta Hidrológica (*Hydrological Response Unit*) de Flügel (1995) es un ejemplo de identificación de estos dominios, cuya finalidad fue reducir la variabilidad espacial de los procesos hidrológicos. A escala de ladera, las catenas o toposecuencias de suelos pueden utilizarse para disminuir la variabilidad de procesos hídricos que ocurren en la superficie o dentro del suelo, tomando en consideración que los movimientos de agua y materia suelen presentar variaciones sistemáticas ladera abajo. Con el enfoque discreto, la extensión y conexión espaciales entre parámetros son explícitas y basadas en respuestas hidrológicas conocidas. Si el concepto del dominio hidrológico discreto es aplicado correctamente en el paisaje, la parametrización de modelos mediante la delimitación de unidades de terreno tiene ventajas sobre el modelo continuo, al disminuir el esfuerzo y el tiempo requeridos para recolectar en campo los parámetros edáficos.

Como parte del proyecto “Estudio y modelación de las propiedades hidroedáficas en una cuenca de bosque de niebla, a diferentes escalas y bajo diferentes usos”, se está elaborando una cartografía de unidades hidroedáficas funcionales a escala de semi-detalle, con el fin de determinar unidades que reflejen la organización jerárquica de los sistemas suelo-relieve-cobertura vegetal, cuantificar las propiedades hidroedáficas y generar información espacialmente explícita para la elaboración de un modelo predictivo del funcionamiento hidrológico de la subcuenca del río Los Gavilanes, ubicada en el centro del estado de Veracruz. En este trabajo se presentan los conceptos y los pasos metodológicos seguidos para la obtención de las unidades hidroedáficas funcionales y se ejemplifican con datos obtenidos de un sector de la parte central de la subcuenca.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **ÁREA DE ESTUDIO**

La subcuenca del río Los Gavilanes pertenece a la cuenca alta del río La Antigua y se localiza entre los 97°06'09.46" W y 96°59'52.67" W y los 19°31'46.39" N y 19°27'33.2" N, en la ladera barlovento del estratovolcán Cofre de Perote, municipios de Coatepec y Xico, del estado de Veracruz. El clima es semicálido y húmedo en la porción baja (1090-1800 msnm), templado húmedo en la intermedia (1800-2400 msnm) y semifrío húmedo en la alta (2400-2960 msnm). El relieve se desarrolló sobre brechas y andesitas altamente intemperizadas, presentando un relieve suave de colinas con cauces de poca incisión en la parte alta. La parte media consiste en laderas de pendiente fuerte separadas por barrancas profundas en forma de “V”. La porción

baja presenta cerros bajos y lomeríos, separados por fondos de valle aluviales bien formados. Suelos de tipo Andosol se desarrollaron sobre la andesita intemperizada y capas delgadas de cenizas en la mayor parte de la cuenca (Rossignol *et al.*, 1987; Meza y Geissert, 2007). Las actividades humanas generaron un mosaico discontinuo de bosque mesófilo maduro, acahuales, bosque mesófilo secundario, bosque de pino y pino-oyamel, pastizales inducidos, matorral secundario de *Bacharis sp.* y *Pteridium sp.*, y cafetales, además de los asentamientos humanos, las áreas agrícolas y las huertas.

## PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

### **Paso 1. Delimitación de subcuenca y microcuencas (primera capa de información)**

La delimitación del parteaguas y el cálculo de las características hidrométricas de la subcuenca del río los Gavilanes (en adelante denominada “subcuenca”), se realizaron sobre archivo raster del modelo digital de elevación (MDE) con ancho de pixel de 10 m, elaborado a partir de un archivo de curvas de nivel a escala 1:20,000 de las cartas E14T179, E14T189, E14T270 y E14T280 de la empresa SIGSA. El geo-procesamiento de datos fue elaborado con el software ArcGIS 10 en su interface ArcINFO, con las herramientas de *3D Analyst tools*, *Spatial Analyst Tools*, *Arc Hydro Tools* Version 2.0, y la extensión de uso libre *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models –TauDEM* versión 5.0– (Tarboton, 2012). La delimitación de las microcuenca funcionales se obtuvo a partir del cálculo sobre el MDE de la dirección de flujo en la ladera (*Flow direction*) y de la acumulación de corrientes (*Flow Accumulation*). El geo-procesamiento se realizó sobre archivos digitales de tipo raster haciendo la transformación posterior en archivos vectoriales.

### **Paso 2. Zonificación de geoformas (segunda capa de información)**

A partir de algoritmos de TauDEM y de la extensión TPI –*Topographic Position Index*– (Jenness, 2006), se elaboró la zonificación de las geoformas de la subcuenca. Se delimitaron unidades de cumbre (*interfluve*), hombro o ladera superior (*shoulder*), ladera media (*backslope*), falda o ladera inferior (*footslope*) y pie de vertiente (*toeslope, channel*), las cuales corresponden a seis de las nueve unidades del modelo “*landscape catena*” de Conacher y Dalrymple (1977), mismo que ofrece un marco conceptual de los procesos edáficos, hidrológicos y geomorfológicos que ocurren en el paisaje.

### **Paso 3. Zonificación de la cubierta vegetal y del uso del suelo (tercera capa de información)**

Se elaboró el mapa de uso de suelos escala 1:20 000, a partir de la interpretación de ortofotos digitales en B/N del año 2004. Se verificó mediante trabajo en campo la exactitud de los límites de las unidades. Los 16 tipos obtenidos fueron agrupados en dos categorías: Forestal y No forestal. La categoría Forestal incluye el bosque mesófilo de montaña (maduro, secundario, en regeneración) y bosque de pino (conservado, en regeneración). La categoría “No forestal” incluye por un lado el subgrupo de cafetales, plantaciones y huertos, y por otro, el subgrupo de uso agrícola, pastizales y matorrales (terrenos en descanso o abandonados). Esta categorización binaria está basada en los resultados de infiltración de Gómez-Tagle *et al.* (2011).

### **Paso 4. Intersección de las tres primeras capas de información (Cuarta capa de información)**

#### **Paso 5. Muestreo de campo**

A partir de la intersección de los polígonos de microcuencas y de geoformas, se seleccionaron transectos de toposecuencias de suelos y mediante barrenación se determinó la organización de la cubierta pedológica en horizontes característicos. En los transectos representativos y de interés, se describieron y muestrearon perfiles

edáficos con fines de caracterización y clasificación de los suelos, de acuerdo con el Manual de Descripción y Muestreo de Suelos (Schoeneberger *et al.*, 2002).

### **Paso 6. Mediciones de campo**

En los sitios de los perfiles edáficos, se realizaron mediciones de infiltración empleando un infiltrómetro portátil de carga constante diseñado *ex profeso* por Gómez-Tagle *et al.* (2008) y para los cálculos (Marín-Castro, 2010) se aplicó el método de Wu *et al.* (1999). La conductividad hidráulica de la zona no saturada se midió con un permeámetro de carga constante (Karlsen, 2010), también construido *ex profeso* con base en el diseño del Permeámetro Compacto de Carga Constante –*Compact Constant Head Permeameter*– (Amoozegar, 1989). Para diferentes ubicaciones dentro de la zona de estudio, también se emplearon infiltrómetros de disco construidos *ex profeso*, basados en el diseño de Spongrová *et al.* (2009). Los parámetros  $K_s$  y  $\alpha$  del modelo exponencial de Gardner (1958) se obtuvieron a partir de datos de infiltración insaturada en estado estacionario aplicando el ajuste no lineal simultáneo propuesto por Logsdon y Jaynes (1993) (Gómez-Tagle *et al.*, 2011). En los sitios de los perfiles y a lo largo de los transectos de barrenación, se midió la resistencia a la penetración hasta una profundidad de 2 metros, utilizando un penetrómetro dinámico de cono, basado en el diseño de Herrick y Jones (2002) y utilizando la ecuación de cálculo.

### **Paso 7. Mediciones de laboratorio**

Para fines de caracterización y clasificación de los suelos, se midieron en laboratorio las siguientes propiedades:

- a) químicas: cationes intercambiables (K, Na, Ca, Mg, Al), capacidad de intercambio catiónico, pH (en agua, KCl, NaF), carbono orgánico, nitrógeno total, aluminio, sílice y hierro extraíbles en oxalato ácido, y aluminio extraíble en pirofosfato.
- b) físicas: densidad aparente, densidad real, granulometría por pipeta, porosidad total.
- c) hídricas: humedad residual, humedad a saturación, curva de retención de agua (a 10 valores de presión), conductividad hidráulica a carga constante en núcleos de suelo inalterado.

### **Paso 8. Integración de toposecuencias hidropedológicas**

Se elaboraron esquemas gráficos de toposecuencias y se definieron rangos de valores de propiedades hidrofísicas de suelos por geoforma. Asimismo, se definieron los tipos de suelos por geoforma, acorde con la clasificación WRB (*IUSS Working Group WRB*, 2006).

### **Paso 9. Caracterización y zonificación de Unidades Hidroedáficas Funcionales**

Las unidades hidroedáficas funcionales (UHF) son unidades geopedológicas de nivel taxonómico “faceta de vertiente” o “complejos de facetas” (Zinck, 2012), definidas por atributos hidrofísicos cuantitativos característicos de las interacciones suelo-agua. Representan dominios hidro-geopedológicos homogéneos a lo largo de la ladera, en los cuales se manifiestan los mismos sistemas de flujos de agua (escorrentía, hipodérmico y freático). Las UHF se definen de acuerdo a un sistema jerárquico de componentes organizados en niveles funcionales anidados. En orden descendente, ellos son: geoforma, tipo de suelo, cubierta vegetal, profundidad del solum y espesor de la capa orgánica. Los atributos hidrofísicos cuantitativos son: infiltración mínima, conductividad hidráulica a saturación mínima, capacidad de retención de agua y capacidad de agua aprovechable, obtenidos en los Pasos 6 y 7. La zonificación de las UHF se realiza con la intersección en formato raster de las capas de información de microcuencia, geoforma, tipo de suelo y cubierta vegetal.



### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE LA SUBCUENCA GAVILANES Y DE LAS MICROCUENCAS

Se extiende entre una altitud de 1090 y 2960 msnm, abarcando una longitud total de 17.5 km y un área de 46.1 km<sup>2</sup> (geométrico) y 41.3 km<sup>2</sup> (planimétrico). Es una subcuenca de montaña con relieve diseccionado en profundas barrancas (pendiente media de 24.9° y máxima de 60°). Los escurrimientos son de orden cuatro y con una longitud total de 70.1 km. La corriente principal alcanza 21 km, indicando un cauce largo. La elevada densidad de corrientes (1.52 km/km<sup>2</sup>) y el mayor número de corrientes jóvenes (orden uno) indican la dominancia de los procesos fluvio-erosivos. Tanto el factor de forma (0.15), como el índice de forma (1.87) y el coeficiente de redondez (5.2) indican que la subcuenca es de forma alargada, estrecha en sus extremos y ancha en la parte media superior, producto de un control estructural por parte de los derrames de andesita y la presencia de fallas y fracturas. La subcuenca fue dividida en 53 microcuencas funcionales, de las cuales 11 son de cabecera (11.7 km<sup>2</sup>), 24 son tributarias (9.1 km<sup>2</sup>), una es de desembocadura (3.1 km<sup>2</sup>) y 17 son de enlace o de transición entre las anteriores (17.4 km<sup>2</sup>) (Fig. 1).

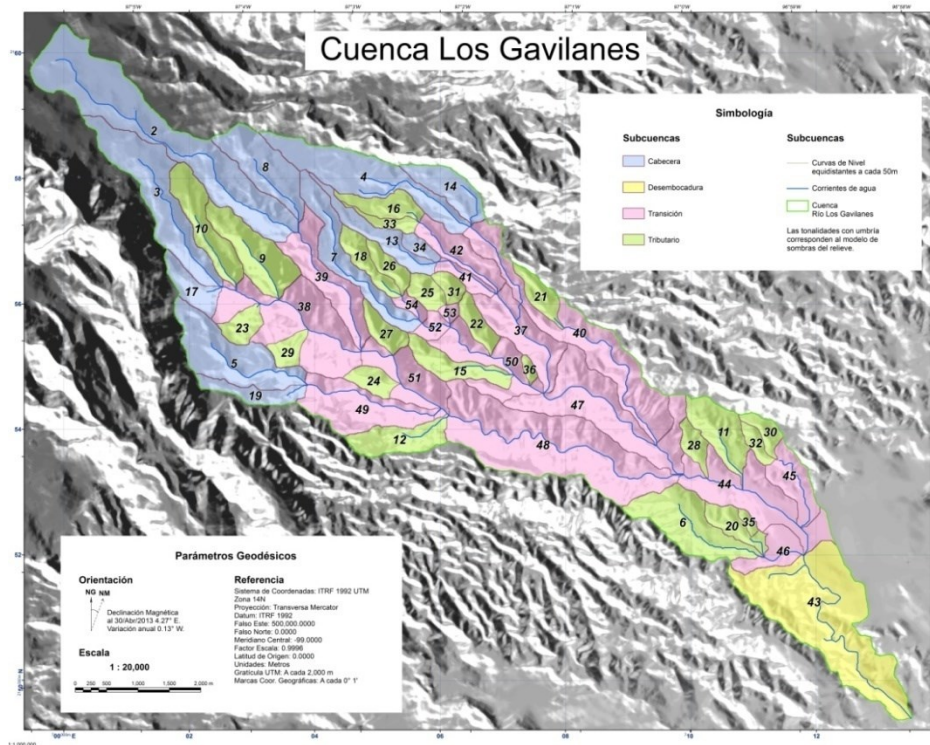


Figura 1. Subcuenca y microcuencas del río Los Gavilanes.

## SUELOS Y PROPIEDADES HIDROEDÁFICAS

En toda la subcuenca se hicieron 43 perfiles de suelos, de los cuales 19 se localizaron en siete de las 32 toposecuencias de barrenación realizadas. Las toposecuencias se estudiaron en 28 microcuencas representativas del total de las 53 identificadas en la subcuenca. Con esta selección fue posible extrapolar a las microcuencas no muestreadas la información disponible de la cubierta edáfica. A continuación, se presentan las principales propiedades de los suelos de las microcuencas 13 y 26, seleccionadas para fines de ilustración del procedimiento metodológico (Tabla 1).

El suelo de la microcuenca 26 se desarrolla bajo una cubierta de bosque mesófico maduro (BMC, arbolado). Se clasifica como *Aluandic Andosol Dystric* (IUSS Working Group WRB, 2006) por presentar propiedades ándicas bien desarrolladas ( $DA < 0.9 \text{Mg m}^{-3}$ ;  $\text{Alo}+1/2\text{Feo} > 2\%$ ;  $\text{Pret.} > 85\%$ ). La morfología de horizontes es de tipo A-Bw-C, indicando que es un Andosol con cierto grado de diferenciación. El contenido de carbono orgánico es elevado y disminuye con la profundidad. El suelo está muy desaturado en cationes intercambiables debido a la intensa lixiviación. La elevada porosidad es la causa de la baja densidad aparente. La textura es franca a franca arcillosa en el horizonte superficial y franca limosa en los otros horizontes.

En la microcuenca 13 se encuentra el mismo tipo de suelo bajo pastizal (PASTG). La morfología de horizontes y propiedades edáficas son similares al anterior, y la principal diferencia se debe a la menor porosidad y mayor densidad aparente, en particular en el suelo superficial, debido al manejo (rotación de cultivos) y pisoteo del ganado.

**Tabla 1.** Propiedades selectas de suelos de bosque (BMC) y de pastizal (PASTG). CO = carbono orgánico; SB = saturación en bases; P ret. = retención de fósforo; Alo, Feo = aluminio y hierro extraídos en oxalato ácido; DA = densidad aparente; PT = porosidad total.

Muestra	Prof.	Horizonte	CO	SB	P ret.	Alo+1/2Feo	Arcilla	Limo	Arena	DA	PT
	cm					%				$\text{Mg m}^{-3}$	%
BMC21	0-50	A1	20.6	1.4	95.6	2.5	27	44	29	0.27	89
BMC22	50-70	A2	10.9	0.4	99.5	4.9	12	55	33	0.30	87
BMC23	70-90	Bw	11.1	0.6	99.6	5.3	16	63	21	0.28	88
BMC24	90-> 110	C1	9.5	0.7	99.6	5.5	22	66	12	0.20	92
PASTG21	0-22	Ap	19.0	5.5	95.4	2.7	33	43	24	0.39	83
PASTG22	22-52	Bw1	12.0	4.6	99.1	4.1	26	51	23	0.43	81
PASTG23	52-80	Bw2	9.5	1.7	99.6	5.2	22	69	9	0.44	82
PASTG24	>80	C1	5.3	2.1	99.3	4.3	26	63	11	0.64	75

## UNIDADES HIDROEDÁFICAS FUNCIONALES

Se presenta un ejemplo de unidades hidroedáficas funcionales tomado de la microcuenca de cabecera 13 y la tributaria 26 (Tabla 2). Las unidades UHF son caracterizadas por microcuenca, de acuerdo con el siguiente orden de componente: suelo dominante, geoforma y uso del suelo. La unidad UHF 1 corresponde a un Andosol del interfluvio y ladera superior, con morfología de horizontes de tipo A1-A2-Bw-C-CR, un horizonte orgánico moderadamente espeso a espeso y un solum profundo. La capacidad de infiltración del suelo es alta en terrenos forestales (bosque mesófilo maduro y secundario), por lo que la escorrentía superficial se espera sea baja a nula. En usos no forestales (pastizal), la infiltración es moderada a baja, favoreciendo escorrentía. La conductividad hidráulica saturada es alta, aunque disminuye en el subsuelo en el contacto con la roca intemperizada (saprolita), por lo que corresponde al grupo hidropedológico B del *Soil Survey Manual (Soil Survey Division Staff, 1993)*. En dichas condiciones pueden formarse niveles freáticos de poca profundidad. La capacidad de retención de agua en el solum es alta, pero la capacidad de agua aprovechable para las plantas es moderada.

**Tabla 2.** Características de las unidades hidroedáficas funcionales (UHF) de dos microcuencas con uso de suelo diferente. HO=horizonte orgánico; % = superficie proporcional de la geoforma en la microcuenca (el primer valor corresponde a la microcuenca 26 y el segundo a la 13).

UHF	Geoforma	%	Tipo de suelo	Uso del suelo	Espesor HO	Prof. solum	Infiltración mínima	Conductividad hidráulica vertical mínima	Retención de agua (solum)	Agua aprovechable
					Cm			cm/h		cm
1	Interfluvio	1/1	Aluandic	Forestal	20-50	100-150	25.0	SS: 20.0	70-90	>13
				No			0.1	SP: 10.0		
2	Ladera superior	31/15	Andosol	Forestal	50-100	100-150	25.0	SS: 20.0	70-90	>13
				No			0.1	SP: 10.0		
3	Ladera inferior	23/16	Dystric	Forestal	< 25	25-100	30.0	SS: 40.0	20-40	3-8
				No			0.05	SP: 5.0		
3	Fondo y cauce	3/1	Dystric	Forestal	< 25	< 25	4.0	SS: 20.0	< 20	< 3
				No			0.05	SP: 3.0		

La unidad UHF 2 es de un Andosol sobre ladera intermedia, con morfología de horizontes también de tipo A1-A2-Bw-C-CR, un horizonte orgánico moderadamente espeso y un solum de moderado a profundo. El horizonte orgánico es de espesor variable dependiendo de los procesos erosivos y coluviales que tuvieron lugar, pero tiende a adelgazarse en la sección inferior de la geoforma. La capacidad de infiltración del suelo es muy alta en terrenos arbolados y moderada-baja en pastizales. La conductividad hidráulica saturada sigue alta, pero el gradiente de disminución con la profundidad es más fuerte que en la UHF 1. La UHF 2 pertenece al grupo hidropedológico A. Por la elevada infiltración, se espera una escorrentía limitada en terrenos forestales, pero significativa en pastizales. El drenaje vertical tiende a convertirse en flujo hipodérmico lateral en el

contacto con la saprolita. La capacidad de retención de agua del solum es moderadamente alta, pero la capacidad de agua aprovechable para las plantas es moderada-baja.

La unidad UHF 3 es de un Andosol sobre ladera inferior y fondo de talweg, con morfología de horizontes de tipo A1-A2-Bw-C-CR, un horizonte orgánico delgado y un solum poco profundo. La capacidad de infiltración del suelo es mediana en terrenos arbolados y baja en pastizales. La conductividad hidráulica saturada sigue alta en el suelo superficial, pero disminuye a moderado en el contacto con la saprolita. Esta UHF pertenece al grupo hidropedológico D. El flujo hipodérmico se concentra en la base de la ladera y forma niveles freáticos poco profundos que se conectan con el cauce del arroyo. La capacidad de retención de agua del solum es baja a moderada, mientras que la capacidad de agua aprovechable para las plantas es baja.

#### 4 CONCLUSIÓN

El estudio presentó los conceptos teóricos y los nueve pasos de un sistema jerárquico de elaboración y cartografía de unidades de suelo con un mismo funcionamiento hidrológico, denominadas Unidades Hidroedáficas Funcionales (UHF). La metodología propuesta es una alternativa intermedia entre la cartografía edáfica clásica y la cartografía de campos continuos y se inserta dentro del nuevo paradigma de la Hidroedafología. El marco metodológico tiene sustento teórico basado en la geomorfología, la pedogénesis, la cartografía y en la hidrofísica de suelos. Los componentes de las UHF son: geofoma, tipo de suelo, cubierta vegetal, profundidad del solum y espesor de la capa orgánica. Los atributos hidrofísicos cuantitativos son: infiltración mínima, conductividad hidráulica a saturación mínima, capacidad de retención de agua y capacidad de agua aprovechable. Se concluye que esta aproximación tiene gran potencial para la modelización y la simulación a escala de cuenca.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Conacyt por el financiamiento otorgado (SEP-CONACYT 106788).

#### REFERENCIAS

- Amoozegar, A. 1989. A Compact Constant-Head Permeameter for measuring saturated hydraulic conductivity of the vadose zone. *Soil Science Society of America Journal*, 53(5):1356–1361.
- Conacher, A.J. y Dalrymple, J.B. 1977. The nine unit landsurface model: an approach to pedogeomorphic research. *Geoderma* 18: 1–153.
- Flügel, W. 1995. Delineating hydrological response units by Geographical Information System analyses for regional hydrological modelling using PRMS/MMS in the drainage basin of the River Bröl, Germany. *Hydrological Processes* 9: 423–436.
- Gardner, W. R. 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with applications to evaporation from a water table. *Soil Science* 85: 228–232.
- Gómez-Tagle, A., Gómez-Tagle R. A.F., Battle-Sales J., Zepeda C. M. H., Guevara S., Maldonado L.S., Pintor A.J.E. 2008. Conductividad hidráulica saturada de campo: uso de un infiltrómetro de carga constante y anillo sencillo. *Terra Latinoamericana* 26(4): 287-297.
- Gómez-Tagle, A., Geissert D., Pérez-Maqueo O.M., Marín-Castro B.E., Rendón-López M.B. 2011. *Saturated Hydraulic Conductivity and Land Use Change, New Insights to the Payments for Ecosystem Services Programs: a Case Study from a Tropical Montane Cloud Forest Watershed in Eastern Central Mexico*. En: Dikinya O. (Ed.), *Developments in Hydraulic Conductivity Research*, InTech, pp. 225-248. <http://www.intechopen.com/articles/show/title/saturated-hydraulic-conductivity-and-land-use-change-new-insights-to-the-payments-for-ecosystem-serv> (acceso 20 abril 2013).
- Hengl, T. 2003. *Pedometric Mapping*. Wageningen-ITC, Wageningen, The Netherlands. PhD. Thesis.

- Herrick, J.E y Jones T.L. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Science Society America Journal* 66:1320-1324.
- IUSS Working Group WRB. 2006. *World reference base for soil resources 2006*. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Jenness, J. 2006. Topographic Position Index (tpi\_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.2. Jenness Enterprises. Disponible en : <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm> (acceso 17 abril 2013).
- Karlsen, R. H. 2010. Stormflow processes in a mature tropical montane cloud forest catchment, Coatepec, Veracruz, Mexico. Tesis de Maestría, Universidad Libre de Amsterdam, the Netherlands. 127 p.
- Lin, H., Bouma, J., Pachepsky, Y., Western, A., Thompson, J., van Genuchten, R., Vogel, H., Lilly, A. 2006. Hydrogeology: synergistic integration of pedology and hydrology. *Water Resources Research* 42, 1–13.
- Logsdon, S. D. y Jaynes D.B. 1993. Methodology for determining hydraulic conductivity with tension infiltrometers. *Soil Science Society of America Journal* 57: 1426–1431.
- Marín-Castro, B. E. 2010. Variación especial de la conductividad hidráulica saturada en suelos de origen volcánico bajo tres usos de suelo en el centro de Veracruz, México. Tesis de maestría en Ciencias, Instituto de Ecología, A.C., 108 p.
- Meza, E. y Geissert, D. 2007. El comportamiento hidrodinámico de Andosoles con uso diferenciado en el municipio de Coatepec, Estado de Veracruz, México. En: Reporte Técnico Final del proyecto No. INE/A1-064/2007. Instituto de Ecología, A.C. – Vrije Universiteit Amsterdam – Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). Xalapa, Ver., México, pp. 118-130.
- Pachepsky, Y., Rawls, W.J., Lin, H.S. 2006. Hydrogeology and pedotransfer functions. *Geoderma* 131: 308–316.
- Rosignol J-P., Geissert D., Campos A., Kilian J. 1987. Mapa de unidades morfoedafológicas del área Xalapa-Coatepec, escala 1:75,000. INIREB-ORSTOM-CIRAD, Xalapa, Veracruz.
- Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., Broderson, W.D. (editors). 2002. *Field book for describing and sampling soils, Version 2.0*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Sobieraj, J.A., Elsenbeer, H., Cameron, G. 2004. Scale dependency in spatial patterns of saturated hydraulic conductivity. *Catena* 55: 49–77.
- Spongrová, K., Kechavarzi C., Dresser M., Matula S., Godwin R.J. 2009. Development of an automated tension infiltrometer for field use. *Vadose Zone Journal* 8: 810–817.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil survey manual*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
- Tarboton, D. 2012; <http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5.0/index.html> (acceso 14 abril 2013).
- Wu, L., Pan L., Mitchell J., Sanden B. 1999. Measuring saturated hydraulic conductivity using a generalized solution for single-ring infiltrometers. *Soil Science Society of America Journal* 63: 788-792.
- Xiao-Yan Li, Zhi-Peng Yang, Yue-Tan Li, Lin H. 2009. Connecting ecohydrology and hydrogeology in desert shrubs: stemflow as a source of preferential flow in soils. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13: 1133–1144.
- Zimmermann B. y Elsenbeer H. 2008. Spatial and temporal variability of soil saturated hydraulic conductivity in gradients of disturbance. *Journal of Hydrology* 361: 78–95.
- Zimmermann B., Elsenbeer H., Moraes J. M. D. 2006. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: Implications for runoff generation. *Forest Ecology and Management* 222: 29–38.
- Zinck J. A. 2012. *Geopedología*. ITC Special Lecture Note Series, The Netherlands. 123 p.



# CONSERVACIÓN DE SUELOS EN AMBIENTES SEMI-ÁRIDOS, UNA PROPUESTA PARA LA MICROCUENCA LA JOYA

Guillermina BARRIENTOS RIVERA<sup>1</sup>, Helena COTLER ÁVALOS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Naturales. Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, UAQ. [guimagic.16@gmail.com](mailto:guimagic.16@gmail.com)

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Ecología, Directora de Manejo Integral de Cuencas Hídricas. [hcotler@ine.gob.mx](mailto:hcotler@ine.gob.mx)

## RESUMEN

La conservación de los suelos se vincula a aquellas prácticas de gestión que promueven el uso productivo y sostenible de los suelos, así como el uso apropiado de la tierra que permita reducir los impactos derivados de las formas de aprovechamiento expresadas en los procesos de degradación.

La implementación de cada tipo de práctica dependerá del tipo de proceso de degradación que se busque atender, de las condiciones biofísicas y sociales en las cuales se quieren implantar, así como de la disponibilidad de recursos humanos y económicos disponibles. Sin embargo, esta situación no siempre es del todo contemplada, aplicándose las mismas acciones para todo el país, siguiendo las indicaciones de la autoridad nacional en el tema de conservación de suelos, que en ocasiones no suelen ser las más adecuadas, debido a que no se considera la heterogeneidad del recurso y las distintas condiciones socioambientales que ejercen presiones e impactos distintos sobre los suelos.

La estrategia para la microcuenca es tomar el suelo como un eje rector desencadenado desde de un enfoque multidisciplinario, la Microcuenca la Joya, localizada entre los límites de los Estados de Querétaro – Guanajuato, y priorizar las áreas importantes para conservar el suelo, que además presentan severos problemas de deterioro y que por lo tanto requiere ser restaurada. Para ello, se llevó a cabo este método que responde a las características edáficas, que nos permiten inferir las calidades de los suelos y así, conocer el estado de la tierra como unidad integral constituido por el enfoque morfo – edafológico. En el cual se determinó que la mayoría de los suelos son muy someros, relativamente jóvenes y/o puede que sean producto de la erosión laminar y de escorrentía concentrada, que pone en evidencia erosión severa en cárcavas, surcos, terrazas y microrelieve producto de la erosión difusa, dejando apreciar pedestales y terracetos.

A partir de estas evaluaciones parciales de uso del suelo, erosión y degradación, morfo-edafología y de la integración en un análisis multicriterio espacial, se llevará a cabo una propuesta como base para que trabajos complementarios que se realizan en la microcuenca La Joya tengan un soporte técnico que ayude a la toma de decisiones y planificación del territorio.

**Palabras clave:** Microcuenca La Joya, suelo, morfo – edafología, conservación.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los suelos constituyen uno de los recursos naturales que se caracterizan por su gran heterogeneidad, lo que les posibilita cumplir con una diversidad de funciones vitales para el sostenimiento de los ecosistemas y de la vida humana (Cotler *et al*, 2007). Una comprensión del sistema del suelo es clave para el éxito y la armonía del medio ambiente de cualquier uso no humano de la tierra (Brady y Weil, 1999).

De acuerdo a la Organización de Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación (FAO) e instituciones internacionales y nacionales, hay una alerta mundial sobre la degradación de los suelos y sus repercusiones en el mantenimiento de la biodiversidad, la mitigación de la pobreza y la seguridad alimentaria; además de la

relevancia del recurso en el mantenimiento del ciclo hidrológico en las cuencas, así como de la provisión de otros servicios ecosistémicos (Cotler *et al*, 2007).

La degradación de los suelos se refiere básicamente a los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su capacidad actual y/o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados, para mantener la calidad del aire, mejorar la calidad del agua, y para preservar la salud humana (Van Lyden y Oldeman, 1997).

Las medidas para conservar el suelo pueden clasificarse en tres grupos: 1) agronómicas, las que utilizan la vegetación para proteger el suelo; 2) vegetativas, que preparan el suelo para mejorar su estructura y su capacidad de favorecer el desarrollo vegetal; y 3) mecánicas o físicas, relacionadas a la ingeniería, incluyen desde modificaciones a la topografía hasta la construcción de las obras (Morgan, 1997). A partir de lo anterior, surge el planteamiento del presente estudio, que busca identificar las prácticas de conservación de suelos más adecuadas para atender la degradación del recurso en una cuenca con características semiáridas, que conlleven garantizar su efectividad en el control de la problemática y la recuperación de la estructura y función de la cuenca.

La zona de estudio seleccionada, es la Microcuenca La Joya, que se encuentra inmersa entre los límites político administrativo de los estados de Querétaro y Guanajuato, donde se ubican las comunidades La joya, Charape La Joya y Pinalillo. Dada su ubicación fisiográfica (Cinturón Volcánico Mexicano), imperan características semiáridas en donde el agua es un recurso prioritario y además de su capacidad articuladora que viabiliza la cuenca hidrográfica. La microcuenca alimenta a las corrientes inferiores que drenan hacia la planicie de Celaya, Salamanca, etc, y a su vez se conectan con los ríos principales del Lerma.

## 2 MATERIALES Y MÉTODO

### TRABAJO DE CAMPO

Se hicieron recorridos de campo en la zona de estudio, mediante transectos para identificar, localizar y evaluar cada unidad del paisaje, los indicadores de campo de pérdida del suelo y su grado de afectación. Así mismo, se hicieron levantamientos de suelo para determinar las características morfoedafológicas del suelo y se tomaron muestras de suelo usando cilindros de volumen conocido, con la finalidad de evaluar la densidad aparente, porosidad y grado de compactación.



**Figura N° 1.** Zona de estudio, Microcuenca La Joya



## LEVANTAMIENTO DE SUELO Y DE RASGOS DE DEGRADACIÓN

En el proceso del recorrido y verificación de campo, se llevaron a cabo una serie de evaluaciones *in situ* en cada horizonte del suelo (se analizó un perfil de suelo por cada unidad representativa), los datos registrados se llevaron a cabo siguiendo las especificaciones del Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo (Siebe *et al.*, 1996). Dichas observaciones fueron registradas en fichas de control, en las cuales se describieron las características de cada horizonte como: Profundidad, Textura, Piedras (%), Color, pH, Humedad, Estructura, Poros, Densidad aparente, Raíces, Actividad biológica y Límite; al momento de hacer las evaluaciones respectivas de cada sitio, se tomó una muestra de cada horizonte para corroborar en laboratorio la textura, carbono orgánico y densidad aparente.

Así mismo, se registraron los rasgos de degradación, los cuales se definieron a partir de las descripciones y estimaciones del Manual para la Evaluación de Campo de la Degradación de la tierra Stocking y Murnaghan, 2001. Para cada unidad se hicieron mediciones, observaciones y se identificaron, los tipos de degradación y los indicadores de pérdida del suelo. Estos datos fueron cartografiados y extrapolados a las unidades de estudio.

### 3 RESULTADOS

Para el presente estudio, se obtuvo un total de 16 muestreos en campo (1 muestra por sitio). Para cada sitio se hizo la evaluación de los parámetros que se muestran a continuación:

**Tabla 1.** Características edafológicas de la zona de montaña en la Microcuenca La Joya.

Sistema morfo genético	Prof. del suelo (cm)	Estructura (Tipo, tamaño y grado)	Textura	Datos de carbono (%)	D.A (g/cm <sup>3</sup> )	Características de degradación de suelo
Montaña: ígnea- extrusiva (Lava básica, toba o ceniza v lava ácida) Ladera en pendiente abrupta >30° (Ma)	Ma1: 0-9	Subangular en bloques media – fina y granular, fina, moderada.	CRA y CL	Ma1: 1.29	1.30-1.37	-40% presenta erosión difusa en el área.
	Ma2: 0-4			Ma2: 1.10		-altura media de pedestales en la zona 5.8mm.
Ma3: 0-6	Ma3: 1.05			-50% presenta terracetas en la zona.		
Laderas en pendiente empinada 20 – 30°	0-14	Subangular en bloques, media a fina, moderada	R	0.65	1.06	- 70% del área presenta erosión difusa. -altura promedio de pedestales 13.5mm.

Laderas en pendiente intermedia 10 - 20° (Mi)	Mi1: 0-18	Migajón, subangular y granular, moderada a gruesa, medio a fuerte. <b>Mi2:</b> <b>Laminar, débil</b>	R, RA, CR y CRL	Mi1: 0.24	1.04-1.53	- 60% del área presenta erosión difusa, creando microrelieve en un 45%.  - altura media de pedestales 3 - 3.9 - 7.5mm.  -pisadas de vaca (indicando que se han perdido 2.5cm de suelo).  -terracetas de 1.80cm de longitud y 63cm de altura.
	Mi2: 0-21			Mi2: 0.26		
	Mi3: 0-30			Mi3: 0.89		
	Mi4: 0-20			Mi4: 0.69		
Ladera en pendiente ligera 0 - 10° (Ms)	Ms1: 0-32	Subangular, medio, moderada.  <b>Ms2: Laminar, fuerte.</b>  Granular, media, moderada  Angular, en bloques, media, moderada	R, RA, CRA, CL y CAf	Ms1: 0.46	1.15-1.41	- 90% del área presenta erosión difusa.  - cárcavas en un 30% del área.  - altura media de pedestales 2mm - 4.3mm-12.6mm - 41.7 (altura máxima de 77cm).  -terracetas en 50% del área y surcos en 15%.
	Ms2: 0-9			Ms2: 0.45		
	Ms3: 0-27			Ms3: 0.24		
	Ms4: 0-29			Ms4: 0.35		
	Ms5: 0-15			Ms5: 0.25		

**Tabla 2.** Características edafológicas de la zona de lomerío en Microcuenca La Joya.

Sistema morfo- genético	Prof. del suelo (cm)	Estructura (Tipo, tamaño y grado)	Textura	Datos de carbono (%)	D.A (g/cm <sup>3</sup> )	Características de degradación de suelo
<b>Lomerío: ígnea- extrusiva</b>  Cima de lomerío en pendiente > 15° (C11)	0-16	Granular, medio- gruesa, moderada y subangular, gruesa	CRA, R y CL	0.84	1.25	-10% del área presenta erosión difusa.  -pisadas de vaca (indicando que se han perdido 2.8 cm de suelo).  -terracetas cubriendo un 3% del área.

Ladera en pendiente suave 5 - 15° (C13)	0-14	Subangular en bloques, gruesa, moderada y angular en bloques, media, moderada.	CRL y CL	0.73	1.28	<ul style="list-style-type: none"> <li>-erosión difusa en un 90% del área.</li> <li>-microrelieve en un 80% de la zona.</li> <li>-terracetas presentes en 70% de la zona.</li> <li>-cárcavas en 20% del área.</li> <li>-altura promedio de pedestales 3.9mm.</li> </ul>
Ladera en pendiente muy suave 0 - 5° (C12)	0-16	Granular, fina, moderada y subangular, media, gruesa.	R y RA	0.34	1.36	<ul style="list-style-type: none"> <li>-75% del área presenta erosión difusa.</li> <li>-terracetas en un 75% del área.</li> <li>-cárcavas en 50% de la zona.</li> <li>-altura media de pedestales 3.3mm.</li> <li>-surcos en un 15% del área.</li> </ul>

**Tipos de textura:** R (arcilla), CRL (franco-arcillo-limosa), CL (franco limoso), CR (franco arcilloso) RA (arcillo arenosa), CRA (franco arcillo arenosa), CAf (franco arenoso fino).

#### 4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

De acuerdo a las características edáficas de los suelos que se encuentran en la Joya, se determina que esta zona presenta en su mayoría suelos muy someros, cuyo manejo inadecuado durante décadas ha provocado una intensa erosión hídrica, que se expresa en pedestales (mayores de 10cm), terracetas, surcos (10m de longitud) y cárcavas de amplias dimensiones (de hasta 23m de longitud). La escasa cobertura vegetal en la mayor parte de la cuenca y los suelos compactados inciden en el incremento de escorrentía la cual es favorecida por las fuertes pendientes.

Así mismo, la cantidad de mantillo es escasa, casi ausente con valores de 1% y en un 90% de la microcuenca menor de 1% debido al excesivo pastoreo e intenso pisoteo. La falta de protección húmica (capa protectora- amortiguador en el suelo) ha permitido el arrastre no solo del suelo superficial, sino también de varios decímetros de suelo, dejando al descubierto las raíces de los árboles. Aunado a lo anterior, las densidades aparentes que se evaluaron en el sitio muestran que la compactación en el terreno es de moderadamente alta a muy alta.

Las evaluaciones ecológicas del sitio muestran que los suelos tienen muy baja capacidad de agua disponible para el desarrollo de la vegetación, producto de las lluvias escasas y de frecuencia irregular. La pedregosidad

existente en la superficie (80% de piedras en algunas unidades de paisaje) es alta y este ha sido de cierta manera protector del suelo al impacto de las gotas de lluvia.

Por tales motivos, es de suma importancia proteger el suelo con diferentes prácticas de conservación de suelo y de agua.

Sin embargo, por las condiciones socio-ambientales de esta microcuenca será de suma importancia generar el interés de los habitantes en invertir en acciones de conservación de suelos.

## REFERENCIAS

- Cotler, H., E. Sotelo, J. Domínguez, M. Zorrilla, S. Cortina y L. Quiñones. 2007. La conservación de suelos: un asunto de interés público. Instituto Nacional de Ecología. Gaceta Ecológica. 83:71p.
- Brady, N.C. y R.R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. Prentice Hall, EE.UU. 345 pp.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2002. Agricultura de conservación: estudio de casos en América Latina y África. Boleón de suelos N. 78. Roma.
- Van Linden G.W.J., Oldeman, L.R., 1997, The Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation in South and Southeast Asia (ASSOD): Wageningen, International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), 41p.
- Morgan, R. P. C. 1997. Erosión y conservación del suelo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Siebe, C; J. Reinhold y K. Stahr. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Publicación especial 4. México. 57 pp.
- Stocking M. y Murnaghan N. 2001. Manual para la evaluación de campo de la degradación de la Tierra. Traducción al español y edición técnica. Carolina Padilla y Juan Albaladejo. Ediciones Mundiprensa. Barcelona España. 173.p.

# HIDROPEDOLOGÍA Y MEMORIA EDÁFICA; ESTRUCTURA 3D DE LA RED DE MACROPOROS DEL SUELO DE BOSQUE MESÓFILO Y SUS AMBIENTES TRANSFORMADOS DEL CENTRO DE VERACRUZ

Rafael MORALES CHÁVEZ<sup>a</sup>, Alberto GÓMEZ-TAGLE CHÁVEZ<sup>a</sup>, Daniel GEISSERT KIENZT<sup>b</sup>, Isabelle BAROIS BOULLARD<sup>b</sup>, A. Francisco GÓMEZ-TAGLE ROJAS<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, email: [rafaelmoraleschavez@gmail.com](mailto:rafaelmoraleschavez@gmail.com).

<sup>b</sup> Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, México.

## RESUMEN

Los bosques mesófilos resultan estratégicos en el manejo hidrológico de cuencas por su producción y captación de agua, sin embargo el flujo de agua y el comportamiento hidrológico en estos sistemas resultan poco comprendidos. Los macroporos del suelo pueden funcionar como vías de flujo preferencial, pero la conductividad de estos depende de la complejidad y estructura del sistema tridimensional existente que esta determinada por el tipo de suelo, el uso y la cobertura. Se analizó la red de macroporos de tres usos/cobertura de suelo, bosque mesófilo maduro (BM), bosque mesófilo secundario (BS) y pastizal (PA). Se extrajeron núcleos inalterados de suelo de una localidad en las faldas del Cofre de Perote en el estado de Veracruz y se escanearon con un tomógrafo digital de rayos X. Se reconstruyó la estructura 3D de macroporos empleando AMIRA V.5.0. En BM la mayoría de los macroporos correspondieron a raíces vivas y raíces antiguas. En los sitios de PA, la superficie del suelo (0-20 cm) llegó a ser totalmente impermeable y se detectó una estructura 3D de macroporos reminiscente subsuperficial (>20 cm prof.). En el BS los macroporos correspondieron a raíces en descomposición o canales de raíz parcialmente rellenos con suelo. Encontramos diferencias estadísticas en la cantidad, longitud, volumen de macroporos y conductividad hidráulica entre los tratamientos. Concluimos que la conductividad hidráulica esta fuertemente vinculada a los macroporos y la estructura 3D de los macroporos del suelo es un registro que funciona como “memoria”, determinado por la historia de uso y manejo.

**Palabras clave:** Conductividad hidráulica, tomografía computarizada de rayos X, red de macroporos, reconstrucción tridimensional, memoria edáfica.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los bosques mesófilos resultan estratégicos en el manejo hidrológico de cuencas por su producción y captación de agua, si bien el flujo de agua en el suelo y su comportamiento hidrológico se han estudiado desde hace varias décadas con fines de producción agrícola, resultan unos de los procesos del ciclo hidrológico menos comprendidos, especialmente en ambientes no agrícolas (Sobieraj, 2003).

Dentro del ciclo hidrológico la conductividad hidráulica es un parámetro clave y complejo que depende de las propiedades del medio poroso y las condiciones en que este se encuentre (Zimmerman, 2008). La porosidad del suelo resulta de suma importancia para el flujo de agua en el suelo y el entendimiento de su comportamiento y variación (Eguchi y Hasegawa 2008), este se puede dar a través de la matriz de suelo con heterogeneidad hidráulica macroscópica o de los macroporos los cuales incluyen canales de raíces, macroporos estructurales, túneles de fauna edáfica y fracturas de roca (Eguchi y Hasegawa 2008).

Los macroporos pueden ayudar a la infiltración mediante la creación de vías de flujo preferencial en el suelo (Pitkanen y Nuutinen, 1998), estas se ven influidas por la estructura, edad y composición de las comunidades vegetales y fauna edáfica (Negrete-Yankelevich *et al.*, 2008), así como por la historia de uso del suelo (Callahan *et al.*, 2006) y el tipo de suelo (Porta *et al.*, 1999).

Para conocer y entender la conductividad, funcionalidad e importancia de los macroporos, resulta necesario contar con información sobre su complejidad y estructura 3D (Joschko *et al* 1993; Lighthart *et al* 1993). En los últimos años, la tomografía computarizada de rayos x se ha posicionado como una nueva y poderosa herramienta para observar los parámetros estructurales del suelo (Capowiez *et al* 1998; Jégou *et al* 1998; Pierret *et al* 2002; Luo *et al* 2008), y permite una representación global de la organización de la macroporosidad del suelo.

Los objetivos de este trabajo fueron cuantificar la estructura y la complejidad de la red de macroporos mediante tomografía computarizada de rayos X, observar si existen diferencias cuantitativas y cualitativas en la red de macroporos entre los diferentes ambientes transformados y relacionar el efecto de la complejidad de la macroporosidad con la conductividad hidráulica del suelo en los diferentes ambientes transformados.

## 2 MATERIALES Y METODOS

### ÁREA DE ESTUDIO

El sitio de estudio se ubica en la parte alta del río La Antigua, en la ladera de barlovento del Cofre de Perote en el estado de Veracruz en el este del centro-este de México dentro de la cuenca del río Gavilanes (97°06'09.46" y 96°59'52.67" W y 19°31'46.38" y 19°27'33.2" N). La precipitación promedio en la región es de 2,500 mm/año, la temperatura media anual es de 18°C, la elevación de la cuenca varía desde los 1180 hasta los 2960 metros sobre el nivel del mar con una pendiente que va de los 20° a los 45°. Los suelos se derivan de cenizas volcánicas sobre flujos piroclásticos consolidados (Geris, 2007; Meza y Geissert, 2007). Por sus características edafogenéticas se identifican como Andosoles úmbricos (FAO-UNESCO 1997) y Andosoles taptohídricos (WRB, 2007). Las condiciones ambientales son el resultado de tres subtipos climáticos diferentes de acuerdo al sistema Köppen modificado por García (2004): subtropical húmedo en la parte inferior, templado y húmedo en el medio, y templado frío húmedo en la parte mas alta.

## 3 METODOLOGÍA

### Muestreo

Para este estudio, se seleccionaron 3 usos/cubierta de suelo con dos repeticiones para cada uno y en tres posiciones a escala de ladera (arriba, enmedio y abajo): bosque mesófilo maduro (BM), bosque mesófilo secundario (BS) y pastizal (PA), el muestreo se efectuó al final de la temporada de secas (abril), al finalizar el muestreo se obtuvieron 18 núcleos de suelo, 6 para cada tipo de vegetación, además se extrajeron muestras alteradas de suelo para análisis fisicoquímico, las cuales se tomaron en perfiles adyacentes a los puntos de extracción de las muestras inalteradas con profundidades cada 10 cm. Los núcleos inalterados se extrajeron en tubos de PVC (16 x 45 cm) mediante un sistema de presión hidráulico diseñado especialmente para el experimento y que reduce en riesgo de deformación de la estructura interna del suelo. Tras la inserción de los tubos de PVC se excavó y removió el suelo alrededor del núcleo para facilitar la extracción. Los núcleos de

suelo fueron forrados con plástico y materiales protectores para un traslado más seguro al laboratorio donde se les agregaron 100 ml de cloroformo para evitar la creación de nuevos macroporos por actividades de la fauna edáfica después de la extracción de acuerdo a Bastardie *et al.* (2005), posteriormente las muestras fueron trasladadas del laboratorio al sitio de escaneo.

### **Escaneo TC y reconstrucción 3D**

Los núcleos inalterados de suelo se trasladaron a CTScanner Lomas Altas donde fueron escaneados con un tomógrafo computarizado helicoidal General Electric (Optima CT660). Para cada núcleo se obtuvo un conjunto de imágenes 2D que representan cortes transversales de la muestra con resolución de 0.445 mm y distancia entre cortes de 2.5 mm. Las imágenes 2D se procesaron y se realizó una segmentación a partir de un valor umbral que permitió distinguir el espacio poroso de la matriz de suelo de acuerdo a la metodología de Capowiez *et al.* (1998).

A partir de las imágenes segmentadas se generó la superficie isométrica mediante interpolación lineal entre cortes adyacentes. La evaluación de la continuidad de los poros entre las imágenes sucesivas se hizo empleando el criterio de superposición de McDonald *et al.* (1986). Posteriormente se llevó a cabo un análisis de interconexión de segmentos en las imágenes sucesivas de acuerdo con el criterio de Capowiez *et al.* (1998). Finalmente se hizo la reconstrucción esquelética del espacio de macroporos y se obtuvieron sus descriptores; número de poros, grosor medio de poro, longitud total de poro, volumen total de poro y nivel jerárquico de poro. Todo el procesamiento de las imágenes la reconstrucción tridimensional se realizó empleando el software AMIRA v5.0 (Visage Imaging).

### **Pruebas de conductividad hidráulica y análisis de laboratorio**

Las muestras inalteradas fueron sometidas a pruebas de conductividad hidráulica saturada en condiciones de laboratorio con carga constante usando agua en flujo vertical normal (arriba-abajo) empleando una adaptación del sistema diseñado por Gómez-Tagle *et al.* (2012). Para el cálculo de la conductividad hidráulica saturada se utilizó la ecuación de Darcy (Porta *et al.*, 1999).

Por otro lado, las muestras alteradas de suelo fueron analizadas empleando técnicas de laboratorio estándar NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002). Las propiedades que se analizaron fueron: densidad aparente, densidad real, distribución granulométrica, textura, contenido carbono e hidrógeno, pH en agua, contenido de materia orgánica y la porosidad total.

## **PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO**

Se realizó una comparación estadística mediante ANOVA y ANCOVA de las variables descriptoras del espacio macroporoso del suelo, la conductividad hidráulica y las variables fisicoquímicas obtenidas a partir de las muestras alteradas, así como pruebas de diferencia honesta significativa de Tukey para estas variables comparando entre tratamientos (cubiertas/ usos de suelo). Se realizaron pruebas de correlación entre la conductividad hidráulica, las variables fisicoquímicas y las variables descriptoras del espacio macroporoso. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo empleando el ambiente y lenguaje de programación estadístico R (<http://www.R-project.org>).

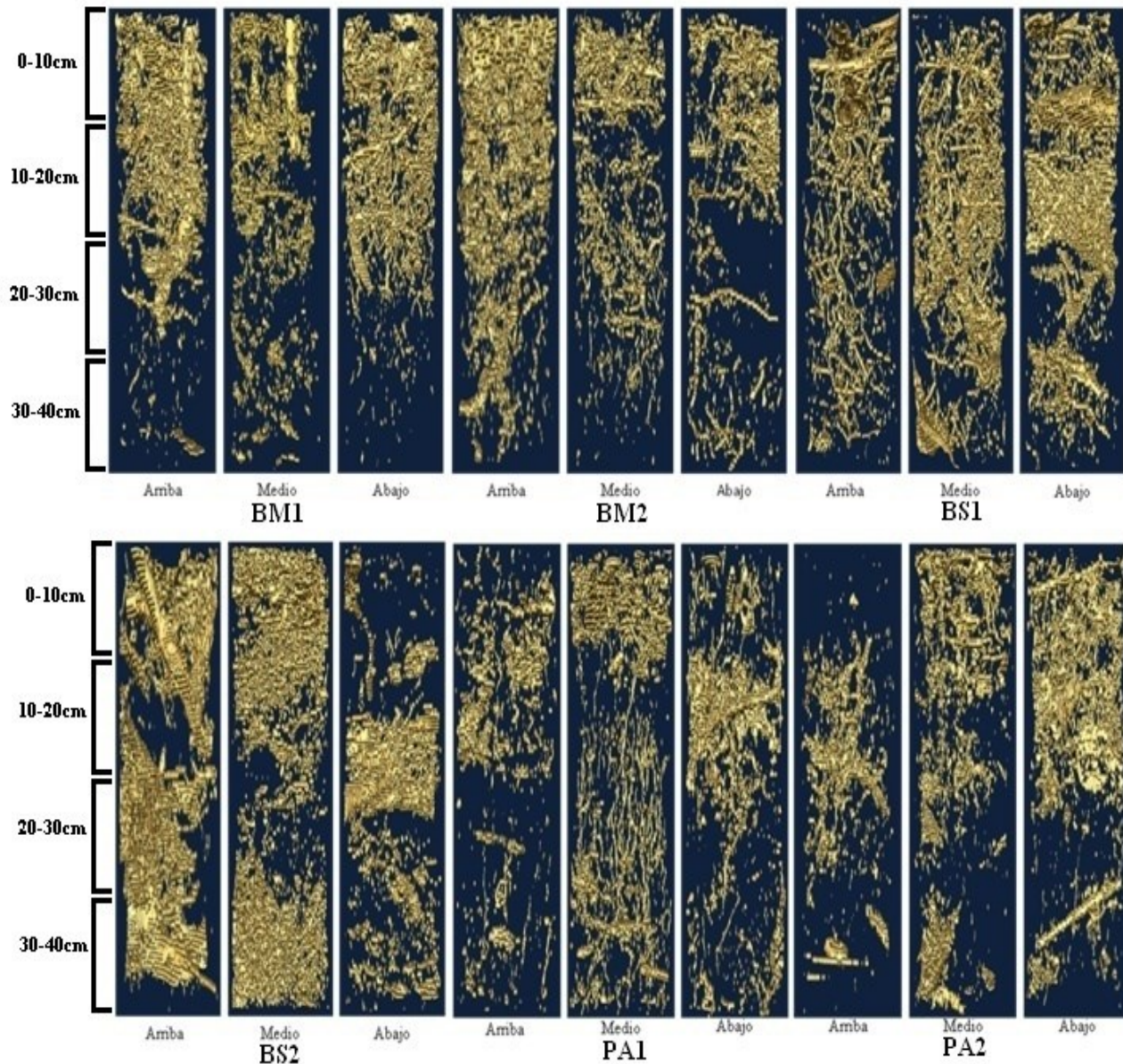
## 4 RESULTADOS

### ESCANEEO TC Y RECONSTRUCCIÓN 3D

Se obtuvieron 213 imágenes de cada uno de los 18 núcleos obtenidos en campo, las imágenes fueron procesadas y se reconstruyeron las superficies isométricas que se presentan en la Figura 1. En esta figura se puede observar que la red de macroporos es mas compleja en los sitios de BM y los de BS, siendo el BS2 en la parte media el sitio con la red mas compleja. En los sitios de PA esta red de macroporos resulto menos compleja, siendo el sitio PA2 arriba el que presenta la red mas discontinua. Además, en esta figura se pueden apreciar macroporos muy grandes y ramificados asociados a raíces vegetales en todos los sitios, en los sitios de PA en los primeros centímetros (0-10 cm) se observan menor cantidad de macroporos en comparación a los sitios de BM. Por otro lado es que el sitio PA1.medio se observa en la parte media del núcleo un grupo de poros verticales muy distintos a los demás macroporos de la muestra.

En los sitios de BS se presenta una red casi continua a lo largo de la muestra mientras que los sitios de BM la cantidad de macroporos disminuye con la profundidad, también se observan en varios de los núcleos morfologías típicas a madrigueras de larvas de coleóptero que se observan como pequeños óvalos a profundidades entre 20 y 30 cm.





**Figura 1.** Reconstrucciones 3D del la red de macroporos para los 18 sitios de muestreo para la época de secas.

Los descriptores del espacio de macroporos obtenidos mediante la reconstrucción esquelética con grosor mayor a 0.5 mm se presentan en la Tabla 1. El sitio que obtuvo los descriptores más altos fue el sitio del BS1 abajo, seguido por el BS2 arriba, los sitios que obtuvieron los valores más bajos fueron el BM1 abajo seguido por el PA1 medio, en conjunto los sitios de bosque secundario obtuvieron los valores más altos seguidos de los sitios de BM y por últimos los sitios de PA. El análisis de varianza para los descriptores de la red de macroporos arrojó diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) para todas las variables entre los distintos usos/cobertura.

Las pruebas *post hoc* de Tukey mostraron que para todas las variables el BS y el PA fueron los más distintos, para las variables N y  $L.cm.cm^3$  la segunda comparación mas distinta fue el BS y el BM, mientras que para la

variable  $V.cm^3.cm^3$  fue el BM y el PA, por lo tanto para las variables N y  $L.cm.cm^3$  el PA y el BM mostraron la menor diferencia y para la variable  $V.cm^3.cm^3$  fue el BS y el BM.

**Tabla 1.** Descriptores de estadística espacial obtenidos a partir de las reconstrucciones 3D para los 18 sitios, N = número de poros totales en la muestra,  $Vol.mm^3$  = total de volumen de poros,  $Length.mm$  = longitud total de los poros,  $N.cm^3$  = número de poros por  $mm^3$ ,  $V.cm^3.cm^3$  = volumen en  $cm^3$  por  $cm^3$  de la muestras,  $L.cm.cm^3$  = longitud en cm por  $cm^3$  en la muestra.

Sitios	N	Vol. $mm^3$	Length.mm	$N.cm^3$	$V.cm^3.cm^3$	$L.cm.cm^3$
BM1 arriba	265	8006.6	2297.3	0.093	0.002802	0.000804
BM1 medio	139	3434.7	1007.2	0.049	0.001202	0.000352
BM1 abajo	14	56.9	52.0	0.005	0.000020	0.000018
BM2 arriba	179	2070.7	1178.1	0.087	0.001005	0.000572
BM2 medio	434	7200.2	3663.3	0.152	0.002520	0.001282
BM2 abajo	13	662.0	129.8	0.005	0.000232	0.000045
BS1 arriba	204	3514.9	1587.1	0.071	0.001230	0.000555
BS1 medio	165	7915.1	1300.9	0.058	0.002770	0.000455
BS1 abajo	531	16590.8	5478.0	0.186	0.005806	0.001917
BS2 arriba	404	11136.3	3777.2	0.196	0.005405	0.001833
BS2 medio	95	736.2	492.6	0.033	0.000258	0.000172
BS2 abajo	487	4450.5	2751.4	0.170	0.001557	0.000963
PA1 arriba	37	180.6	157.0	0.013	0.000063	0.000055
PA1 medio	33	156.2	128.0	0.012	0.000055	0.000045
PA1 abajo	39	419.4	245.6	0.014	0.000147	0.000086
PA2 arriba	83	572.6	432.8	0.029	0.000200	0.000151
PA2 medio	160	1374.5	846.7	0.056	0.000481	0.000296
PA2 abajo	165	1098.7	918.1	0.058	0.000384	0.000321

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para ninguna de las variables fisicoquímicas entre los usos/coberturas vegetales y además se realizó una prueba de Tukey para hacer la comparación de las medias y encontró diferencia estadística para el %Limo entre PA y BM. También se encontró el mismo comportamiento para %Arcilla y la densidad real. Se encontraron diferencias estadísticas entre PA y BS para %Arena y porosidad total. Los sitios de BS y BM fueron estadísticamente distintos solo para la densidad aparente.

## PRUEBAS DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA

La Tabla 2 muestra los valores de Ksat obtenida mediante ensayos de infiltración saturada con carga constante y la ecuación de Darcy.

El sitio que presenta una mayor Ksat es el de BS.arriba con 3654.2 cm/h, mientras que el valor menor se presenta en el pastizal de PA1.abajo con solo 1.32 cm/h. Cabe mencionar que la muestra PA2 arriba fue impermeable.

Haciendo un promedio de los valores de Ksat de los sitios para cada tipo de uso del suelo/cobertura, el BS tiene el promedio mas alto con 2395.4 cm/h  $\pm$  766.8 cm/h, seguido por el BM con 686.1 cm/h  $\pm$  948.2 cm/h y por finalmente el PA con 496.4 cm/h  $\pm$  733.5 cm/h.

El análisis de varianza mostró la existencia de diferencia estadística significativa entre los los distintos usos/cobertura de suelo para la variable Ksat, la prueba de Tukey indicó la existencia de diferencia estadística entre PA y BS, así como entre los BS y BM, mientras que no se encontró diferencia entre BM y PA.

**Tabla 2.** Datos de Ksat para los núcleos de todos los sitios, Ksat = conductividad hidraulica saturada, Qb = Flujo de infiltración básica.

SITIO	Ksat (cm/hr)	Qb (mm/hr)
BM1 arriba	147.8	29096.5
BM1 medio	4.5	862.6
BM1 abajo	2377.7	447332.6
BM2 arriba	1255.9	233990.6
BM2 medio	86.7	16996.1
BM2 abajo	244.3	46918.4
BS1 arriba	2911.1	566096.6
BS1 medio	2310.2	441491.4
BS1 abajo	1551.4	302218.1
BS2 arriba	3654.2	704397.3
BS2 medio	1893.4	376372.4
BS2 abajo	2052.1	388532.3
PA1 arriba	195.8	36690.3
PA1 medio	22.0	4144.4
PA1 abajo	1.3	260.3

PA2 arriba	0.0	0.0
PA2 medio	1781.8	350465.8
PA2 abajo	977.4	191410.1

## 5 CONCLUSIONES

Se encontró que la red de macroporos si muestra diferencias entre los diferentes uso/cobertura de suelo, siendo el BS el ambiente con la red de macroporos mas compleja seguido del BM y por ultimo el PA, esto puede deberse a un efecto de “memoria” del suelo en el BS, donde aun quedan reminiscencias de la red de macroporos anterior a la perturbación, mientras que en el PA la red de macroporos se ve muy disminuida en los primeros 10cm debido a la compactación que se presenta en la zona por parte del ganado.

Se observo diferencia también en la conductividad hidráulica entre los distintos uso/cobertura de suelos de nuevo siendo el BS el que presenta los valores mas altos, seguido del BM y por ultimo el PA, un análisis posterior indico que la mayor diferencia se da entre el PA y el BS y que no se encontró diferencia entre el PA y el BM.

La red de macroporos en BS obtuvo los valores más altos en las variables descriptoras del espacio macroporoso, lo cual coincidió a su vez con la obtención de los valores mas altos de conductividad hidráulica, lo cual nos puede indicar que la conductividad hidráulica esta muy relacionada con los macroporos, además al no encontrar diferencias entre las variables fisicoquímicas entre los usos/coberturas de suelo podemos descartar que la diferencia entre la conductividad hidráulica se debiera a una de estas variables.

## 6 AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al laboratorio de ciencias de la tierra del Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y al Instituto de Ecología, A.C. por el apoyo brindado, al proyecto SEP-CONACyT 106788 y a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento necesario para la realización de este proyecto.

## 7 REFERENCIAS

- Sobieraj, J. A. 2003. *Spatial patterns of saturated hydraulic conductivity and its controlling factors for forested soils*, Civil and Environmental Engineering of the College of Engineering, University of Cincinnati, Cincinnati, OH, USA. 237 pp.
- Zimmermann, B. and Elsenbeer, H. 2008. Spatial and temporal variability of soil saturated hydraulic conductivity in gradients of disturbance, *J. Hydrol.* 361, 78–95.
- Eguchi, S. y Hasegawa, S. 2008. Determination and characterization of preferential water flow in unsaturated 383 subsoil of andisol. *Soil Science Society of America Journal.* 72: 320-330.
- Pitkanen, J., y V. Nuutinen. 1998. Earthworm contribution to infiltration and surface runoff after 15 years of different soil management. *Applied Soil Ecology.* 9:411-415.

- Negrete-Yankelevich, S. Fragoso, C., Newton, A.C., Russell, G. y Heal, A.W. 2008. Species-specific characteristics of trees can determine the litter macroinvertebrate community and decomposition process below their canopies. *Plant and Soil*. 307: 83-97.
- Callaham, J., M.A., J. Richter, D.D., D. C. Coleman, y M. Hofmockel. 2006. Long-term land-use effects on soil invertebrate communities in Southern Piedmont soils, USA. *European Journal of Soil Biology*. 42:150-156.
- Porta, J., M. López-Acevedo, y C. Roquero. 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*, 2 edición. Mundi-Prensa, Bilbao, España. 849 pp.
- Joschko, M., Muller P.C., Kotzke K., Dohring W., Larink O. 1993. Earthworm burrow system development assessed by means of Xray computed tomography. *Geoderma*. 56:209–221.
- Lighthart, T.N., Peek G.J.W.C., Taber E.J. 1993. A method for the three-dimensional mapping of earthworm burrow systems. *Geoderma*. 57:129–141.
- Capowiez, Y., A. Pierret, Daniel, O., & Monestiez, P., A. 1998. 3D skeleton reconstructions of natural earthworm burrow systems using CAT scan images of soil cores. *Biology and Fertility of soil*. 27:51-59.
- Jégou, D., Cluzeau, D., Wolf, H.J., Gandon, Y., Trehen, P. 1998. Assessment of the burrow system of *Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea giardi* and *Aporrectodea caliginosa* using X-ray computed tomography. *Biol. Fertil. Soils* 26:116–121.
- Pierret, A., Capowiez, Y., Belzunces, L., Moran, C.J. 2002. 3D reconstruction and quantification of macropores using X-ray computed tomography and image analysis. *Geoderma*. 106:247– 271.
- Luo, L., Lin, H., & Halleck, P. (2008). Quantifying Soil Structure and Preferential Flow in Intact Soil Using X-ray Computed Tomography. *Soil Science Society of America Journal*. 72:1058-1069.
- Geris, J., 2007. *Changes in soil physical characteristics, infiltration and hill slope hydrological response associated with forest conversion to pasture in Central Veracruz, Mexico*. MSc Thesis, VU University, Amsterdam, The Netherlands, 82 pp.
- Meza, E., Geissert, D., 2007. *El comportamiento hidrodinámico de Andosoles con uso diferenciado en el municipio de Coatepec, Estado de Veracruz, México*. In: *Reporte Técnico Final del Proyecto No. INE/AI-064/2007*. Instituto de Ecología, A.C. Vrije Universiteit Amsterdam, Instituto Nacional de Ecología. Xalapa, Ver., México, pp. 118–130.
- FAO-UNESCO, 1997. Soil Map of the World. Revised Legend, with corrections and updates. World Soil Resources Report 60, FAO, Rome. Reprinted with updates as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen, The Netherlands.
- World Reference Base for Soil Resources 2006. IUSS Working Group WRB. 2007. FAO, Rome. *World Soil Resources Reports* No. 103.
- García Coll, I., Martínez Otero, A., Ramírez Soto, A., Niño Cruz, A., Juan Rivas, A., Domínguez Barrada, L. 2004. *La Relación Agua-Bosque: Delimitación de zonas prioritarias para el pago de servicios hidrológicos en la Cuenca del río Gavilanes, Coatepec, Veracruz*. En *El Manejo Integral de Cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. Cotler, H. (compiladora). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. 264 pp
- Bastardie F., Y. Capowiez, Cluzeau D. 2005. 3D characterisation of earthworm burrow systems in natural. *Applied Soil Ecology*. 30:34–46.
- McDonald I., Kaufmann P., Dullien F. 1986. Quantitative image analysis of finite porous media. I. Development of genus and pore map software. *J Microsc.* 144 :277–296.
- Gómez-Tagle Ch. A., E. Mora-Damián, G. Guerra-Domínguez, D. Geissert, A. F. Gómez-Tagle R., J.C. Carillo-Amezcu. 2012. Open-source automation unit for field infiltrimeters and pememeters. 2Nd International conference on hydrogeology. Leipzig, Germany. 22-27 July 2012.

DOF. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Pag. 1-75 *In* Diario Oficial de la Federación.

R Development Core Team, 2004. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

# ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DE SUELOS EN LA MICROCUENCA SAN ILDEFONSO, QUERÉTARO: CASO DE UNA PARCELA DEMOSTRATIVA

<sup>a</sup>Oscar SEGURA RAMÍREZ; <sup>b</sup>Dr. Oscar Ricardo GARCÍA RUBIO; <sup>c</sup>M. en GIC. Milagros CÓRDOVA ATHANASIADIS.

<sup>a</sup>Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Regional de Capacitación en Cuencas. email: [sero.cuencas@gmail.com](mailto:sero.cuencas@gmail.com).

<sup>b, c</sup> Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro.

## RESUMEN

La recuperación y conservación de suelos en la microcuenca San Ildefonso, en el municipio de Amealco, Querétaro, es considerada una actividad primordial para mejorar la funcionalidad de la microcuenca e incidir en la calidad de vida de sus habitantes. El área de estudio tiene vocación forestal, sin embargo, durante las últimas décadas ha sufrido cambios en el uso de suelo relacionados con el aprovechamiento forestal, la expansión de la frontera agropecuaria, y la intensificación en la extracción de sillar, por lo que actualmente presenta una 87.89% de la superficie degradada de acuerdo al análisis de degradación de suelos realizado mediante la metodología ASSOD. La conservación y recuperación de suelos se planteo mediante el establecimiento de una parcela demostrativa, para lo cual se enfatizó en un proceso de trabajo de participación activa, en el cual los actores locales, son los gestores y ejecutores del proceso de establecimiento de la parcela. Los trabajos participativos en el proceso favorecieron y fortalecieron sus experiencias, la apropiación de prácticas y técnicas de conservación de suelos, logrando identificar la importancia de los trabajos en la conservación y recuperación de suelos de manera integral, es decir, un concebirlo como un proceso que requiere de diversas acciones u obras que actúen en conjunto para mejorar la funcionalidad de la unidad de escurrimiento, y que dichas obras dependerán de las dinámicas de degradación que estén afectando una unidad de escurrimiento, así mismo los actores participantes serán promotores y capacitadores de otros actores en la microcuenca, buscando la capacitación campesino-campesino.

**Palabras clave:** restauración, recuperación, degradación, suelo, parcela demostrativa, participación

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se ocupa únicamente del recurso suelo, y los trabajos van encaminados a la prevención, protección y recuperación de los suelos lo se asume como un proceso de recuperación, es decir, restablecer solo algunos de los elementos funcionales o estructurales del suelo, así como la mejora de algunos elementos visuales. Este proceso de recuperación lo podríamos considerar como una primera fase del proceso de restauración de suelos.

La necesidad e inquietud se intervención en esta microcuenca y específicamente de trabajar con el recurso suelo, surge de estudios anteriores en los cuales se ha señalado el grado de degradación de la microcuenca, por lo que se plantea la necesidad de capacitar e involucrar en la responsabilidad de recuperación y conservación de suelos a los actores de la microcuenca. Para ello se plantea como una alternativa el establecimiento de una parcela demostrativa de conservación y recuperación de suelos, con el afán de capacitar a los habitantes de la microcuenca; esta capacitación deberá ser una capacitación incluyente y participativa, la cual se inicia con la identificación del tipo de degradación, las causas y con los habitantes y actores de la microcuenca participantes propondrán una o varias prácticas o técnicas de protección o recuperación y el establecimiento de las obras.

Como fundamento esencial para este trabajo se deben considerar las relaciones, hombre – medio ambiente o entre el ambiente y los procesos ligados a la economía social, los cuales se manifiestan o materializan como cambios en la cobertura y uso del suelo. Lo anterior aplica de igual manera para los problemas generados por la pérdida de cobertura vegetal y que son consecuencia del deterioro ambiental de la microcuenca, de entre los que se pueden destacar:

- a) tala por aprovechamientos forestales clandestinos, para la elaboración de carbón vegetal y extracción de leña, lo que provoca un aumento de las escorrentías superficiales y con ello un aumento de la erosión; se genera una disminución de la capacidad de recarga de los acuíferos;
- b) sustitución de policultivos por monocultivos, disminuyendo la riqueza biótica y provocando el aumento de la incidencia de plagas y enfermedades;
- c) disminución de la cobertura vegetal y la tasa y capacidad de regeneración y renovación de los ecosistemas, eliminando la riqueza de especies silvestres y con ello la biodiversidad y;
- d) reducción de la capacidad de captación de agua y recarga de los mantos freáticos y el agua superficial de la microcuenca.

## **2 OBJETIVO**

Promover estrategias para la conservación de los suelos de la microcuenca San Ildefonso, a través del establecimiento de una parcela demostrativa, mediante la cual se llevará a cabo la capacitación y difusión para la implementación de distintas obras de conservación de suelos, donde se dejarán las bases con el propósito de que se logre su apropiación e implementación a futuro.

### **Objetivos específicos**

1. Identificar las áreas prioritarias dentro de la microcuenca, que debido al estado de degradación del suelo, requieren de estrategias de restauración y conservación.
2. A partir de las áreas identificadas, determinar en conjunto con los actores locales, el sitio para establecer la parcela demostrativa.
3. Seleccionar las prácticas que son más adecuadas para implementarse en la parcela.
4. Establecer las obras de conservación y recuperación de suelos en la parcela seleccionada, con la participación de actores locales interesados, a fin de capacitarlos y fomentar la apropiación de las prácticas implementadas.
5. Conocer la percepción local de los habitantes respecto a la degradación del suelo, para poder difundir el propósito de la función integral de las obras de conservación de suelo, a través de las visitas guiadas a la parcela demostrativa y de la elaboración de un tríptico, que muestre de manera sintetizada la función de cada una de las obras.



## 2 MARCO TEORICO

En el Manejo Integrado de Cuencas es una aproximación al manejo ambiental de unidades hidrográficas completas, el cual ubica a los procesos de participación social como de gran relevancia para la rehabilitación del medio, y mediante lo cual se busca mejorar la calidad de vida de sus habitantes y del entorno (Cotler y Caire, 2009).

Por otro lado la gestión integrada de las cuencas hidrográficas durante la década de los 80's fue precursora del desarrollo rural sostenible. Ambos enfoques comparten una perspectiva sistémica de las interacciones biofísicas y sociales, interés en los efectos del cambio que se producen en el lugar y fuera de éste, a corto y a largo plazo, y la convicción fundamental de que una gestión social adecuada puede optimizar el funcionamiento de los ecosistemas humanos, resaltando que ambas perspectivas tienen como objetivo generar beneficios para la población y el medio ambiente (FAO, 2007).

Desde la concepción del suelo y la comprensión del mismo como un factor biótico y dinámico dentro de las cuencas, podemos agregar que los suelos ayudan a reincorporar a los ciclos biogeoquímicos de la naturaleza: los elementos químicos presentes en la atmósfera como el nitrógeno, o aquéllos que quedaron en los restos muertos de plantas y animales, como es el caso del carbono y el fósforo. Además cumplen con otras funciones dentro de los ecosistemas, como lo es el de regular y guiar el flujo del agua de la lluvia hacia los acuíferos, así como filtrar el agua de contaminantes como metales pesados, plaguicidas y nitratos (Becerra, 1998; Cotler, 2003; Cirelli, 2005; SEMARNAT, 2007).

Por tanto, la degradación del suelo es el resultado de factores ambientales, sociales y económicos. Los factores que están relacionados con la degradación del suelo son el cambio de uso del suelo hacia superficies agropecuarias, la deforestación, el sobrepastoreo, las condiciones del relieve, la densidad poblacional y la pobreza (López, 2002).

El análisis, gestión y el manejo de recurso bajo la visión de cuencas permite entender la relación que existe entre los recursos naturales y condiciones medioambientales, así como la forma en que la población hace uso e impacta sobre los recursos naturales en cantidad, calidad y temporalidad. Por ello, el enfoque en cuencas es el marco apropiado para analizar los procesos ambientales generados por el uso y manejo de recursos (Cotler y Priego, 2007).

## 3 MARCO DE REFERENCIA

En la actualización del Plan Rector de Producción y Conservación (PRPC) de la microcuenca San Ildefonso, se señala que uno de los principales problemas es la explotación de los bosques para la elaboración de leña y carbón, que se venden para la obtención de ingresos y para el autoconsumo. Otro grave problema es la falta de agua de la que dependen básicamente de manantiales y el poco aprovechamiento de las pocas presas o bordos. Se tiene un problema grave de deforestación, debido al cambio de uso de suelo, de tipo forestal por uso agrícola, acentuando la erosión. A lo anterior se suma la explotación de bancos de sillar, que provoca más erosión y pérdida de vegetación (ibídem).

Un estudio más, es el Plan de Manejo de la Reserva Amealco-Sur Qro., para su conservación Hidrológico-Ambiental y Desarrollo Regional, donde se concluye que la erosión es una constante, sobre todo en las áreas donde la explotación del sillar ha tomado auge. Sin embargo, la erosión hídrica es superficial, y en menor medida es ocasionada por la deformación del terreno con la presencia de algunos surcos y cárcavas. Fue a través de la Evaluación Rural Participativa (ERP) que se obtuvo información acerca de las problemáticas más sentidas por los habitantes, y ello condujo a la problemática ambiental, misma que la tala ilegal es el mayor problema detectado durante los trabajos de campo; así que no es de sorprender que los habitantes de la RAS consideren a la tala y la deforestación de las áreas comunes como su mayor problema ambiental. También se menciona que la mayor parte de la cubierta vegetal está compuesta por pastizales inducidos y cultivos de temporal, lo cual demuestra que las actividades antropogénicas han ocasionado importantes cambios en el paisaje (García, 2012).

De los estudios anteriores, se vislumbra la necesidad y el interés por un grupo de actores locales y la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, de trabajar una alternativa que permita la sensibilización, capacitación y difusión de alternativas de trabajos encaminados a la protección, conservación y recuperación de suelos en la Microcuenca San Ildefonso.

#### 4 ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca de San Ildefonso Tultepec se localiza al sur este del municipio de Amealco de Bonfil, ubicado en la parte sur del estado de Querétaro. Se localiza entre las siguientes coordenadas: 20 10' 21" y 20 05' 11" de latitud norte y en la longitud oeste 99 56'20" y 99 59'14", tiene una superficie total de 17,471.13 has. y se encuentra a una altura que oscila de 2250 a 3303 msnm, su elevación media es de 2512 msnm.

Dentro de la microcuenca "San Ildefonso" se encuentran 24 localidades las cuales son: San Ildefonso Tultepec, El Tepozán, El Bothe, El Rincón, Yospí, Xajay, Tesquedo, Tenasdá, San Pablo, Lapiní, Mesillas, El Jacal de La Piedad, Los Ranchos, El Capulín, La Ladera, San Pedro Tenango, La Loma del Apartadero, Bosques del Renacimiento, Santa Clara del Apartadero, Veinte de Noviembre, La Cruz del Apartadero, Buenos Aires, El Apartadero, San Bartolo (figura 1).

La microcuenca de San Ildefonso presenta un clima predominante *templado sub húmedo* C (w1)(w) con humedad media. Su temperatura media anual entre 12 y 18°C y la precipitación pluvial promedio anual es de 659.4mm, siendo el mes de Julio con más abundancia de lluvia llegando hasta 157.3mm. Esta microcuenca presenta varias formaciones geomorfológicas, sin embargo por su origen volcánico, se encuentran principalmente las lavas acumuladas como las **tobas, andesitas y basaltos**, y en proporciones más pequeñas también se encuentran materiales más antiguos como los conglomerados, areniscas y extrusivas ácidas, así como la acumulación de materiales en las zonas más planas dando origen a los suelos aluviales y residuales (figura 2). Los suelos que predominan en la microcuenca son los Phaeozem, que se encuentran en la parte media y baja; sin embargo en zonas con mayor altitud se encuentra el Luvisol, los cuales corresponden a las áreas más conservadas de la microcuenca y que se encuentran con una cubierta vegetal conservada. Además se pueden encontrar en superficies menores, suelos del tipo Vertisoles, Cambisoles y Litosoles (figura 3).

En lo referente al uso de suelo y vegetación en la microcuenca se determino que existen extensas áreas para la agricultura de temporal, que junto con los pastizales naturales e inducidos cubren un 69.5 % de la superficie; los cultivos principales en la microcuenca son: maíz, frijol, haba y avena; la finalidad de la misma es para autoconsumo. Además podemos encontraren las partes altas de la microcuenca sobretudo la región Sureste está cubierta por bosques de encino-pino entre las altitudes 2300 a 3300 msnm y que esta área representa la zona mejor conservada de la microcuenca (figura 4).

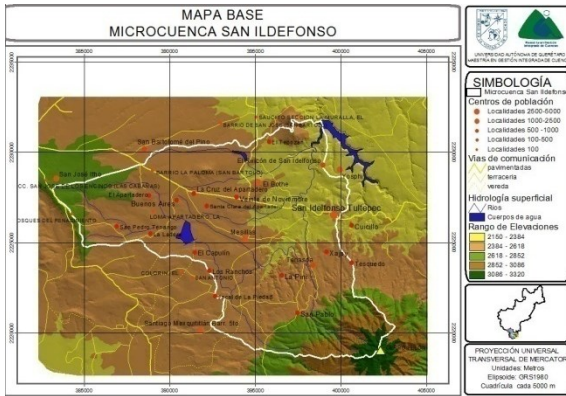


Figura 1. Mapa base, Microcuenca San Ildefonso

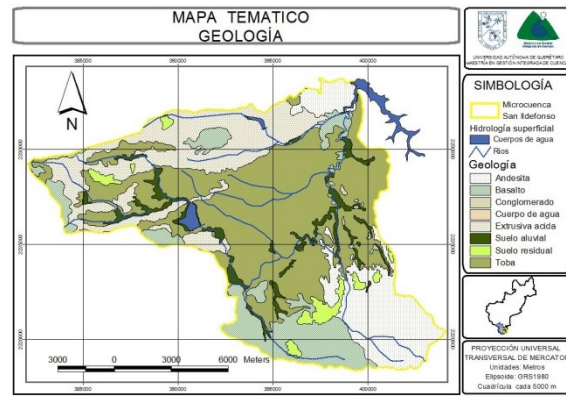


Figura 2. Geología en la Microcuenca San Ildefonso

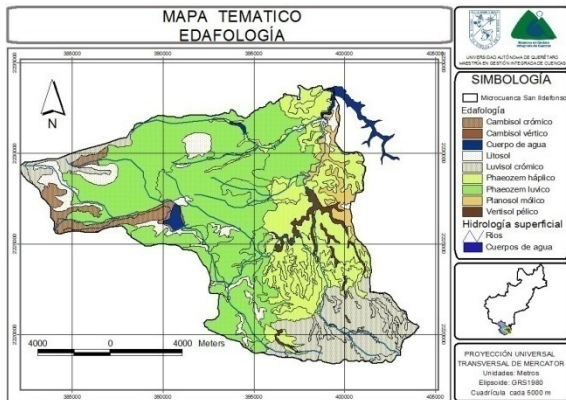


Figura 3. Edafología en la Microcuenca San Ildefonso

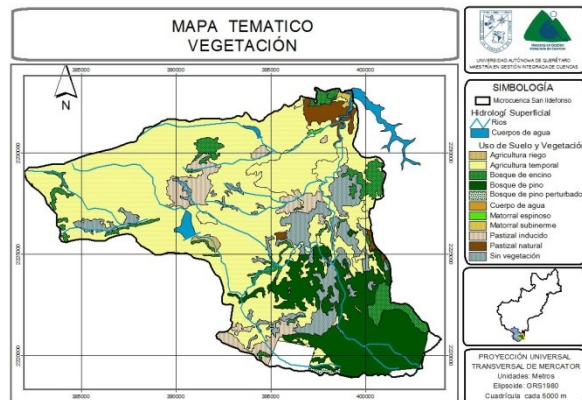


Figura 4. Uso de Suelo y Vegetación en la Microcuenca San Ildefonso

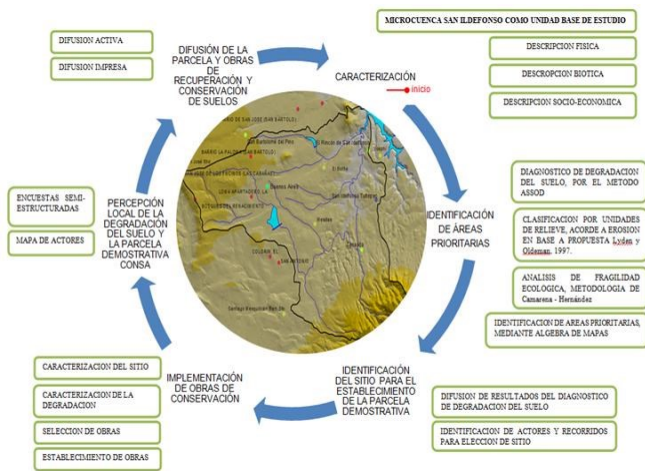
En lo que respecta a los aspectos socio-demográficos, la Microcuenca San Ildefonso tiene una población total de 14, 144,00 habitantes distribuidas en las 24 comunidades que la conforman. La población está compuesta mayormente por mujeres (51.25%), en tanto que los hombres representan la población minoritaria (48.74%). En el año 2000, la población total de la microcuenca era de 18,905 habitantes, desde esa perspectiva, se tiene que la población de la microcuenca creció a una tasa compuesta media anual del 1.36% durante el periodo 2000-2010.

Precisamente, San Ildefonso presenta un índice de alta marginación con necesidades en las áreas de salud, educación, vivienda, infraestructura social, servicios públicos y comunitarios, economía y ecología. De acuerdo a la unidad de microrregiones de CONAPO (2011), San Ildefonso presenta un grado de marginación

alto, teniendo como principales consecuencias las disparidades regionales de acceso a infraestructura en comparación con otros territorios de marginación media y baja, altos niveles de morbilidad y mortalidad en los territorios marginados, baja inversión en actividades productivas en los territorios marginados, bajo nivel de capital humano y bajo nivel de productividad.

## 5 METODOLOGIA

La investigación es de tipo cualitativa que por su propia naturaleza, dialéctico y sistémico, se ajusta al enfoque de cuencas, mismo que exige una visión holística y sistémica de la unidad hidrológica. Por lo anterior, es necesario reconocer que en el estudio de cuencas, tanto la metodología cualitativa como la cuantitativa son indispensables para poder servirse de un análisis sin forzar e imponer solo una interpretación del objeto de estudio. El proceso metodológico se plantea en seis etapas: caracterización, diagnóstico (identificación de áreas prioritarias, ubicación del sitio, establecimiento de la parcela demostrativa, percepción del problema y difusión. Todo el proceso para realizar el proyecto se realizó de manera participativa, involucrando actores locales de la Unión de Cooperativas Nhõnho de San Idefonso. La etapa de caracterización se realiza previo a la integración del equipo de trabajo con los actores locales, para esta caracterización se utilizaron otros estudios y bibliografía disponible de la zona, capas vectoriales de información para la generación de la cartografía.



La identificación de áreas prioritarias, se desarrollo en dos etapas: la primera que es la **determinación de la degradación del suelo**, la cual se determina mediante el método ASSOD modificada para México por SEMARNAT y Colegio de Posgraduados. En esta metodología se reconocen dos grandes categorías de procesos de degradación del suelo: 1) La degradación por desplazamiento del material del suelo, que tiene como agente causativo a la erosión hídrica o eólica y 2) la degradación resultante de su deterioro interno que considera en la actualidad a los procesos de degradación física y química. De este análisis se obtienen el grado de degradación, el cual según la metodología ASSOD, puede estar en cuatro categorías: **ligero, moderado, fuerte y extremo** (SEMARNAT- COLPOS, 2002).

Una vez ubicadas las áreas con un grado de degradación fuerte y extremo, las cuales se consideran como prioritarias, se eligió el sitio en el cual se establecería la parcela demostrativa. El proceso de elección del sitio se inició mediante recorridos participativos en campo, evaluando en cada uno de los predios propuestos para lo cual se consideró el grado de degradación, suelo, vegetación, problemas del predio o de los propietarios del predio esta evaluación se realizó en coordinación con los actores locales y gestores de los recursos económicos para ejecución y establecimiento del proyecto; mediante estos recorridos se tomó la decisión de entre cinco

predio establecer la parcela en la comunidad de Mesillas, en un predio particular que de acuerdo al análisis de degradación, presenta degradación **fuerte**, es un predio particular propiedad del Sr. Francisco Correa.

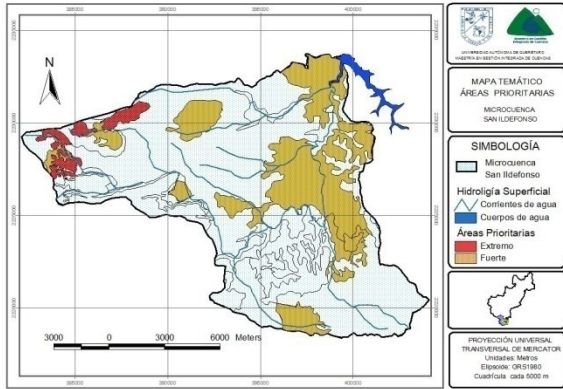
Posterior a la ubicación del sitio para el establecimiento de la parcela, se realizó la evaluación de las condiciones del predio, es decir se evalúa el grado de degradación y se subdivide el predio por tipo de degradación (erosión), el conocer las causas de erosión y la condición del predio tenemos los elementos para determinar y proponer de manera participativa las medidas de intervención. Al contar con el diagnóstico del predio, se inicia el proceso de establecimiento de la parcela demostrativa, el cual comprende: el cercado perimetral, capacitación y proceso participativo de establecimiento de las obras de conservación, difusión de la parcela y obras.

## 6 RESULTADOS

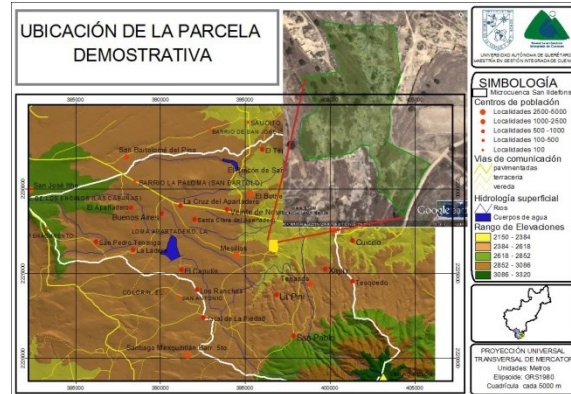
Del análisis de degradación de suelos por el método ASSOD realizado en la microcuenca San Ildefonso, se determinó que el 87.89% de la superficie está afectada por algún tipo de degradación de suelo causada por el hombre, de la cual el 2.66% de este porcentaje presenta un grado de afectación ligero, 11.75% moderado, 84.00% Fuerte y 1.59% Extremo (figura 5).

El conocer el grado de degradación nos da la pauta para la ubicación de la parcela demostrativa, la cual se ubica en la condición más representativa de la microcuenca, lo que significa ubicarla en zonas de degradación fuerte o extrema. Una vez determinada la degradación de la microcuenca, se inicia la elección del sitio para el establecimiento de la parcela, este proceso implicó recorridos participativos – colaborativos por la microcuenca, participando los actores locales de Unión de Cooperativas Ñoño de San Ildefonso, A.C., en estos recorridos se ubicaron predios en áreas prioritarias (áreas con degradación fuerte y extrema), se realizaron entrevistas articuladas con los propietarios de predios, ejido San Ildefonso, con el delegado, para conocer la situación legal de los predios y el interés de los propietarios por el proyecto, estos parámetros nos dan la pauta para hacer la toma de decisión y elegir que el predio adecuado. El predio seleccionado se ubica entre las coordenadas extremas 2226387.024 y 2226800.660 de latitud norte y 396547.455 y 396783.570 de longitud Oeste. Se ubica en parte media – alta de la microcuenca San Ildefonso, con altitudes que van de los 2360 a los 2389 msnm, siendo su altitud promedio de 2373 msnm, el predio tiene una superficie de 5.5 hectáreas, con un perímetro de 1310 m y la longitud del cauce principal es de 375 m, con una pendiente media de 8.4%, y es propiedad del Sr. Francisco Correa (figura 6).

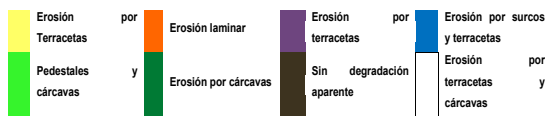
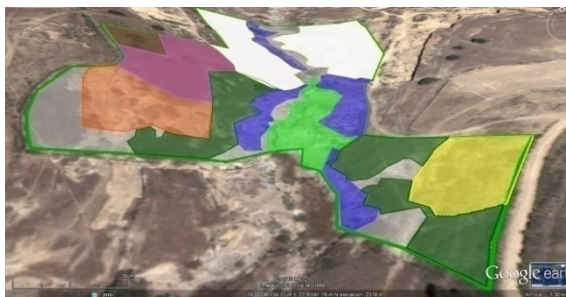
El predio seleccionado, presenta un nivel de degradación fuerte, áreas con cárcavas, erosión laminar, pedestales y terracetos, erosión por surcos, además se observan relictos de bosque de encino. Una gran parte del predio con cobertura de pastos y otras áreas sin cobertura, generalmente en las que ya no cuentan con suelo y que se encuentra expuesto el tepetate (tobas volcánicas) (figura 7).



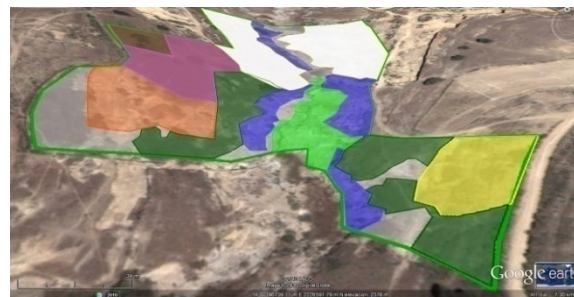
**Figura 5.** Degradación del suelo en la Microcuenca San Ildefonso



**Figura 6.** Ubicación de la parcela demostrativa, en la Microcuenca San Ildefonso



**Figura 7.** Degradación del suelo en el predio destinado para establecer la parcela demostrativa



**Figura 8.** Propuestas de recuperación de suelos en la parcela

Con la propuesta de obras se pretende atender cada uno de los problemas de degradación puntuales que se detectaron, sin embargo en conjunto todas las obras buscan actuar y favorecer la recuperación de la unidad de escurrimiento de manera integral, por ello la diversidad de obras van desde la estabilización, corrección y recuperación de cauces y cárcavas, reforestación con vegetación riparia, estabilización de taludes de las cárcavas y escurrimientos principales; mientras que en las partes altas de la unidad de escurrimiento se trabaja la conservación, retención y recuperación de suelos y sedimentos, esto mediante obras como las fajinas, presas de piedra acomodada, terrazas individuales, terrazas, reforestación con especies nativas. Estas obras en conjunto favorecen la retención de suelos, sedimentos, reducir la velocidad de los escurrimientos superficiales y favorecer la infiltración, favorecer la revegetación, mejorar la calidad de suelos mediante la aportación y/o acumulación de materia orgánica; así mismo reducen la velocidad y cantidad de agua superficial y sedimentos que llega a los escurrimientos y cárcavas.



## 7 CONCLUSIONES

El trabajo realizado en la parcela demostrativa, cumple con la intención y propósito que se pretende, que es la demostración, participación y capacitación de actores locales en todo el proceso para el establecimiento de dicha parcela. En este sentido se logra la participación activa y propositiva de 12 integrantes de la Unión de Cooperativas Ñoño de San Ildefonso, A.C de manera directa, y 6 de manera indirecta, los cuales provienen de 7 comunidades; por ende logra la capacitación y apropiación de conocimientos por parte de 18 actores locales para promover y difundir la experiencias en cada una de las comunidades de las cuales provienen, y de esta manera fomentar las distintas alternativas de recuperación de suelos en la microcuenca San Ildefonso.

Es necesario seguir trabajando la sensibilización, difusión y capacitación de actores, autoridades locales, municipales y estatales locales, además es importante la gestión de apoyos involucrar autoridades locales, municipales buscando las sinergias para promover la recuperación de suelos en la zona.

Aunque el propósito de la parcela no es la evaluación de las obras, en un futuro se recomienda evaluar la funcionalidad de las obras de manera individual y en conjunto, evidenciando los efectos a nivel unidad de escurrimiento, sobre todo considerando la conservación, retención y recuperación de los suelos y por otro lado, la disminución de efectos erosivos de los escurrimientos superficiales.

## 8 REFERENCIAS

BECERRA, A. 1998. Conservación de Suelos y Desarrollo Sustentable, ¿Utopía o posibilidad en México? Terra Latinoamericana, abril – junio, año/vol. 16, número 002. Universidad Autónoma Chapingo. México. Pag. 173-178.

- CIRELLI, V. 2005. Restauración Ecológica de la Cuenca Apatlaco – Tembembe. Estudio de caso: Modelado de la distribución de la nutria de río, *Lontra longicaudis annectens*. Tesis de Maestría. Postgrado en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de México. México. 143 p.
- CONAPO. 2011. Consulta de la página:  
[http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=149&Itemid=14](http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=149&Itemid=14) el día 05 de septiembre de 2011.
- COTLER, A. H. 2003. El uso de la información edáfica en los estudios ambientales. *Gaceta ecológica*, julio - septiembre, número 068. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. pag. 33-42.
- COTLER, H. y CAIRE, G., 2009. Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México Primera. INE-SEMARNAT, ed., México DF: INE-SEMARNAT. Available at:  
[http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=613](http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=613).
- COTLER, A. H. y PRIEGO, A. 2007. El manejo integrado de cuencas en México. El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma-Chapala. Segunda edición. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Pag. 79- 89.
- FAO, 2007. La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas 1° ed., Roma: Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Available at:  
<http://www.fao.org/docrep/010/a0644s/a0644s00.htm>.
- GARCÍA, O. 2012. Plan de manejo de la Reserva Amealco Sur, Qro. para su conservación hidrológico ambiental y desarrollo regional. Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- López Falcón, R., 2002. Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación 2° ed., Mérida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial Universidad de los Andes. Available at:  
<http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>.
- SEMARNAT - COLPOS. 2002. Evaluación de la Degradación del Suelo Causada por el Hombre en la Republica Mexicana. Memoria Nacional. Secretaria del Medio Ambiente, Recursos y Recursos Naturales – Colegio de Postgraduados. México. 358p.
- SEMARNAT. 2007. ¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo. Secretaria del Medio Ambiente, Recursos y Recursos Naturales. México. 192p.



# LECCIONES APRENDIDAS EN LA CONSERVACIÓN DE SUELOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CONCHOS

J. Alfredo RODRÍGUEZ-PINEDA<sup>a</sup>, Iván GRIJALVA<sup>b</sup> Eugenio BARRIOS ORDOÑEZ<sup>c</sup>,

<sup>a</sup> World Wildlife Fund, Ave México No. 51, Cd de México, [alrodriguez@wwfmex.org](mailto:alrodriguez@wwfmex.org)

<sup>b</sup> Fac. de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua, Carretera a Rosales, Cd Delicias, Chih., [igrijalva@uach.mx](mailto:igrijalva@uach.mx)

<sup>c</sup> World Wildlife Fund, Ave México No. 51, Cd de México, email: [ebarrios@wwfmex.org](mailto:ebarrios@wwfmex.org)

## RESUMEN

Existen múltiples proyectos de restauración de arroyos y ríos, los cuales difícilmente son sujetos a un proceso sistemático de evaluación (Kondolf, 1995). Esto mismo puede aplicarse a las acciones de conservación de suelo y agua en México. Este trabajo buscó evaluar y recuperar las lecciones aprendidas así como el impacto y los indicadores de éxito aprendidas en el trabajo de conservación de suelos, agua y vegetación que desarrollaron durante un periodo de 6 años la Dirección de Desarrollo Forestal de la Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado de Chihuahua (DDF-SDR-GECH) y la Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. (WWF-FGRA). Consideramos que su aplicación puede ayudar a fortalecer las acciones del sector forestal.

Durante un periodo de 5 años (2005-2010) se implementaron trabajos de conservación de suelo, vegetación y agua en un área de 10,230 hectáreas de la cuenca alta del río Conchos en el Estado de Chihuahua. Con la participación de las comunidades indígenas y rurales, se construyeron más de 10,000 presas de piedra acomodada en cauces de arroyos de primer y segundo orden, así como cordones de piedra acomodada y material muerto en laderas. En el año 2010 se realizó el monitoreo y evaluación de los resultados obtenidos. Las lecciones aprendidas del proceso y sus resultados son presentados en éste documento.

Los resultados muestran que el 86.9% de las obras monitoreadas se encuentran intactas y funcionando adecuadamente. La retención de sedimentos y humedad ha favorecido la regeneración de suelo, la revegetación de la zona con especies arbóreas como pino, encino y tásate, además de pastos y otras plantas nativas. A su vez, ello ha favorecido la formación de hábitat y agujeros para fauna menor y mayor. La valoración social muestra que los locales hasta ahora valoran el trabajo realizado, inicialmente lo consideraban inútil.

**Palabras clave:** *Suelo, agua, vegetación, conservación, Sierra Tarahumara, río Conchos, Chihuahua*

## 1 INTRODUCCIÓN

La pérdida y cambio de la cobertura original de suelo son problemas cotidianos en la cuenca alta del río Conchos en la Sierra Tarahumara (Figura 1) con impactos negativos en el ciclo hidrológico. Durante la segunda mitad del siglo XX en la cuenca se generaron cambios irregulares en la cobertura de suelo por la deforestación e incendios de especies pináceas (*Pinus* spp), con un significativo reemplazo por especies como el encino (*Quercus*, spp), la *Arctostaphylos pungens* (manzanilla) e inclusive matorral xerófito en un área de 256,000 ha (WWF, 2008a). Los cambios asociados a otros factores como la incidencia anual de incendios, asociada a largos periodos de sequía durante el siglo XX (Arriaga, et al., 2002; Kim and Valdés, 2002; Reyes et al., 2005; WWF, 2008b), así como por la apertura de tierras al cultivo, entre otros elementos, provocan pérdida de la cobertura natural, el aceleramiento del ciclo hidrológico y un proceso de desertificación de la Sierra Tarahumara. La suma de las acciones antropogénicas y naturales genera cambios negativos en la cobertura de suelo que ponen en riesgo la biodiversidad de la Sierra Tarahumara y la sustentabilidad de los grupos sociales como los Tarahumaras, Guarojíos, Pimas y Tepehuanes.

Conscientes de la problemática relacionada con la deforestación y degradación del suelo que afecta a la Sierra Madre Occidental, el Gobierno del Estado de Chihuahua a través de la Dirección de Desarrollo Forestal en coordinación con la Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., se desarrolló un esquema de trabajo conjunto en la cuenca alta del río Conchos para conservar y recuperar suelo como factor de equilibrio del ciclo hidrológico, siempre con el involucramiento de los grupos sociales como columna vertebral del proceso. Con esto se buscó favorecer la recuperación del suelo, agua y vegetación de la Sierra Tarahumara, el bienestar de los grupos sociales mestizos e indígenas. El proyecto incluyó la construcción de obras de conservación de suelo y agua en un área de 10,230 ha.

## **2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y SOCIAL**

### **HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS**

El río Conchos forma parte de la macrocuenca binacional Río Bravo/Río Grande, este río binacional inicia en el sur de Colorado, cruza Nuevo México para luego conformar la línea fronteriza entre México y los Estados Unidos hasta su desembocadura en el Golfo de México. La cuenca con un área de 67,000 km<sup>2</sup>, equivalente al 27.2% del estado de Chihuahua, inicia su travesía en el parteaguas continental entre los océanos Pacífico y Atlántico, la porción oriental conforma la cuenca del río Conchos. En su descenso desde la Sierra Tarahumara hasta su confluencia con el río Bravo liga al macizo forestal de la Sierra Madre Occidental con las amplias llanuras del Desierto Chihuahuense.

La CRC se integra por cinco subcuencas, la subcuenca alta (Figura 1) con un área de 21,003 km<sup>2</sup> es la principal en precipitación y volumen de escurrimientos. Se conforma por el drenaje natural de la Sierra Tarahumara integrada por cientos de arroyos que gradualmente convergen para formar los cauces de los ríos Bocoyna, Sisoguichi, Panalachi y Rituchi, aguas abajo conforman un solo cauce, sitio en donde se le denomina Río Conchos. Aguas abajo, por el lado poniente se suman dos importantes afluentes, los ríos Balleza y Nonoava. La suma de estos flujos es almacenado en presa La Boquilla con capacidad para 2,900 hm<sup>3</sup>, para posteriormente usarse en el Distrito de Riego 005-Delicias con un área cultivable de 90,589 ha.

El clima de la subcuenca alta se clasifica como subhúmedo (AC) con lluvias en verano y esporádicas nevadas en invierno con temperaturas que oscilan entre los 28 °C en el verano y hasta -16 °C en invierno. Su temporada de estiaje comprende de febrero a junio y la de lluvias se circunscribe a los meses de julio, agosto y septiembre, periodo cuando precipita el mayor porcentaje del valor medio anual de 700 mm/año en la zona de trabajo. En invierno se presentan esporádicas lluvias y precipitación en forma de nieve. El escurrimiento medio anual de la subcuenca alta es de 1,071.2 hm<sup>3</sup> (Diario Oficial de la Federación, 2008). Sin embargo, la zona es afectada por ciclos de sequías alternados con años húmedos.

### **GEOLOGÍA Y RELIEVE TOPOGRÁFICO**

Las características geológicas de la Sierra Tarahumara facilitan el deterioro y la pérdida de suelo a partir de los cambios en su cobertura original. La subcuenca alta del río Conchos es parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental. La geología es resultado de intenso vulcanismo silícico, principalmente tobas ignimbríticas de tonos claros Terciarias, así como flujos andesíticos y riolíticos, todas ellas con un rango de edad entre los 21 y 30 millones de años (Nieto-Samaniego et al., 1999). Posterior a los eventos volcánicos, la zona

estuvo sometida a un periodo de extensión de placas tectónicas entre los 30 y 27 Ma (Nieto-Samaniego et al, 1999; Ferrari et al., 2005). Esta combinación de eventos geológicos y climáticos generó un paisaje montañoso con elevadas pendientes que descienden hacia estrechos valles con capas de suelos de poca profundidad y pobres en materia orgánica.

El relieve topográfico y pendientes de la Sierra Tarahumara facilitan la erosión del suelo cuando se pierde la cobertura vegetal. El 24.8% del bosque de pino-encino de la Sierra Tarahumara se localiza en pendientes que fluctúan entre 10 y 15 grados, mientras que el 10.6% de dicha cobertura se encuentra en superficies con pendientes muy suavemente inclinadas (<3 grados), finalmente el 7.6% en superficies con pendientes fuertes a muy fuertemente inclinadas (20-45 grados) (Cotler, 2007).

Un factor favorable para la generación de suelo en Sierra Tarahumara, es que las rocas ignimbríticas presentan características de baja densidad relativa, se presentan débilmente soldadas y son fácilmente intemperizadas. Ello facilita la formación de los suelos predominantes de la Sierra Tarahumara como los litosoles y regosoles, caracterizados por un incipiente desarrollo y poco espesor. Sin embargo, a pesar de su pobreza orgánica, estos suelos en conjunto sostienen al 58.6% del bosque templado en México (Cotler, 2007).

## VEGETACIÓN

La vegetación de la zona se caracteriza por bosques de pinaceas como el *Pinus arizónica* y *P. durangensis*. Es común encontrar el bosque mixto de pino – encino con ubicaciones en faldeos con pendientes de entre 5 a 70% y en exposiciones variables como el *Pinus arizónica* (pino blanco), el *P. durangensis* (pino de Durango), el *P. ayacahuite* (pino huiyoco), el *P. leiophylla* (pino prieto) y *P. lumholtzii* (pino triste). Los encinos y otras latifoliadas presentes incluye a el *Quercus rugosa* (encino roble), el *Q. sideroxyla* (encino), el *Arbutus arizónica* (madroño) y el *Juniperus deppeana* (táscate). La vegetación con exposición norte y mayores condiciones de humedad se encuentra el *Pseudotsuga spp*, de la especie *Picea chihuahuana* en riesgo de extinción, el *Populus tremuloides* (alamillo), *Fraxinus americana* (fresno), *Prunus capulli* (capulín), *Rubus strigosus* (zazzamora), *Vitis arizónica* (uva silvestre). Por su parte, el estrato arbóreo se caracteriza por la presencia de *Arctostaphylos pungens* (manzanilla) y *Quercus depressipes* (encinillo). Finalmente, algunas hierbas comunes son *Pteridium aquilinum* (machogaka), *Stevia serrata* (requeson) entre otras.

## ASPECTOS SOCIALES

La zona de trabajo se ubicó en el municipio de Bocoyna, con una población de 29,907 habitantes (INEGI, 2005) distribuida en poblados como San Juanito, Creel, Sisoguichi, Bocoyna y una gran cantidad de pequeñas y dispersas comunidades y rancherías mestizas e indígenas. Las principales actividades económicas de la región están asociadas al aprovechamiento forestal, el turismo y el comercio. El aprovechamiento forestal se realiza en 25 ejidos con un total de 3,873 ejidatarios y una superficie promedio de 10,873 ha por ejido, por lo que a cada ejidatario le corresponde un promedio de 70 ha de bosque para su aprovechamiento (WWF, 2005).

## LA PÉRDIDA DE SUELO

Las principales causas de pérdida de suelo en la Sierra Tarahumara incluye el inadecuado aprovechamiento forestal, los incendios, la expansión de la ganadería, la apertura de tierras de cultivo, la minería, el cultivo de enervantes y otros como la tumba y quema (Felger y Wilson, 1994, en Guerrero, et al., 2001). Un estudio realizado en el año 2000 muestra que la cobertura forestal en la Sierra Tarahumara se redujo en 2 millones de

hectáreas al pasar de 6 a 4 millones de hectáreas entre la décadas de 1970 al año 2000 (Lammertink, et al., 1997, en Guerrero et al., 2001). Recientemente, un análisis de cambios multitemporales en la ecoregión del Desierto Chihuahuense (WWF, 2008a), se utilizó una serie de imágenes satelitales para detectar cambios de uso de suelo en un periodo de 30 años (1970-2000), los resultados muestran la pérdida forestal de 516,000 ha de pino, el incremento de la cobertura de encino en 163,400 ha, el incremento del bosque de táscate en 37,900 ha, e inclusive la presencia de áreas con matorral desértico (WWF, 2008a). Estos cambios aceleraron la pérdida de biodiversidad y la modificación del régimen hidrológico de las cuencas (Mass y García-Oliva 1990 (a y b) , Pagiola 1999, de Graaf, 2000; en Cotler, 2007)

### **3 ACCIONES IMPLEMENTADAS**

Con el objetivo de revertir el grave deterioro de la pérdida de suelo, el trabajo de conservación de suelos y agua se realizó en 28 ejidos y comunidades de los municipios de Bocoyna y Carichí. El trabajo incluyó la construcción en laderas y cauces de 21,060 presas filtrantes de piedra acomodada, popularmente conocidas como trincheras con dimensiones promedio de 0.6 m de altura por 1 m de ancho y de 4.6 m de longitud, totalizando un volumen medio de 3 m<sup>3</sup> de roca por presa. Las obras se construyeron en el sistema de drenaje primario y secundario de las microcuencas. Otras obras realizadas incluyó el acomodo de material vegetal muerto (180,571 m), barreras de piedra acomodada (108,885 m) y presas filtrantes de ramas. Para zonas con condiciones severas de erosión de suelo con cárcavas profundas se construyeron 50 presas filtrantes de gaviones como en la microcuenca del arroyo Choguita-Aguatos, municipio de Bocoyna.

La inversión directa total fue de \$13,932,215.00, el 80% se invirtió en pago de salarios por concepto de mano de obra de 91,800 jornales generados. Un 10% se invirtió en asesoría técnica y el restante 10% en compra de herramientas. La inversión benefició un área de 10,230 ha. El costo unitario inicial fue de \$1,200.00 pesos/ha recuperada, el cual incrementó hasta \$1,630.00 pesos/ha al 2010. El costo unitario promedio de una presa de piedra acomodada fue de \$210/m<sup>3</sup>.

### **EVALUACIÓN DEL TRABAJO**

La evaluación del trabajo se realizó mediante la colecta de información en campo, observación directa de los impactos logrados, entrevista a los ejidatarios beneficiados y el análisis de la información. La visita de campo se realizó durante los meses de marzo y abril del año 2010. Se visitaron un total de 700 obras seleccionadas al azar de las 21,060 construidas ubicadas en nueve ejidos o microcuencas o comunidades de un total de 28, incluyendo a Creel, Choguita, Panalachi, El Ranchito, Babureachi, Tajirachi, Ciénaga del Táscate, Norogachi de Mamórachi y La Laguna. Dos brigadas de evaluación integradas por 3 profesionales con experiencia en ciencias forestales, hidrología, ecología y aspectos sociales. De manera aleatoria, se seleccionó al arroyo a evaluar y la evaluación se realizó a cada quinta obra visitada. El total de obras visitadas ascendió a 700 con evaluación a 171 de ellas.

Los parámetros colectados de cada obra incluyen su ubicación, posición en el cauce con respecto a la microcuenca (arriba, en medio, abajo), midió la pendiente así como los indicadores de la condición física, biótica y aspectos sociales:

- Indicadores de la condición física: ¿Está completa o incompleta? ¿Está funcionando o no?, medición del volumen del material acumulado en relación al volumen total potencial, el tipo de material, la evaluación visual del contenido de humedad o agua acumulada.

- Indicadores bióticos: Presencia de especies vegetales, su métrica y condición y tipo de fauna existente en el área de influencia (excretas, huellas, otros rastros, presencia física).
- Indicadores de evaluación de la percepción social: Entrevista directa a una muestra de 10 personas que trabajaron en el proyecto con el objetivo de identificar el nivel de entendimiento del trabajo desarrollado (¿que? ¿por qué? y ¿para qué?), de sus resultados y de los beneficios obtenidos.

La información colectada fue integrada, cuantificada y analizada para determinar las lecciones aprendidas, así como definir el prototipo de presa filtrante con mayor resistencia y efectividad a las condiciones de flujo de los arroyos y sus flujos.

## 4 RESULTADOS

Las obras evaluadas tenían entre 2 y 5 años de haber sido construidas: El 11.7% se construyó en el año 2005, 24% en el 2006, 20.5% en el 2007, 38.7% en el 2008 y 5.3% en el 2009. Las obras construidas en el año 2010 no se incluyeron en la evaluación ya que éstas no habían sido sometidas a esfuerzos hídricos importantes por falta de lluvias. Del tamaño de muestra evaluada los resultados indican que el 92.4% de las obras construidas corresponden a presas filtrantes, un 4.2% a cordones de piedra a curvas de nivel y el 2.3% de zanja-bordo en curvas a nivel. Con respecto a la posición de la obra a lo largo del cauce se determinó que el 50% de las obras evaluadas fueron construidas en la parte alta del arroyo, el 34.4% en la parte media y el 15.6% en la parte baja. El rango de pendientes de los sitios evaluados fluctuó desde un máximo de 37% hasta un mínimo del 3%, con un valor medio de 11.4%.

### EVALUACIÓN FÍSICA

Los resultados de la evaluación física mostraron que el 86.9% de las obras construidas se encontraron en buen estado y funcionando de acuerdo a los objetivos para los que fueron construidas. El 8.7% se encontraron parcialmente dañadas y el 4.4% fueron destruidas por efecto de las avenidas máximas del cauce (Figura 16). En el 100% de las obras dañadas parcial o totalmente la principal causa fue iniciar las obras en otro punto topográfico que no fuera el inicio del cauce. La razón para no iniciar en la parte superior del cauce es por su ubicación fuera de los límites del ejido participante en el programa. Esta situación generó que la acumulación del flujo en el cauce (sin obras de conservación) tuviera la velocidad y energía suficiente para impactar y destruir las presas filtrantes ubicadas aguas abajo.

Con respecto al tipo de sedimentos y volumen colectados se encontró que en el 72% de las obras se observaron principalmente sedimentos gruesos donde destacan las gravas, gravillas y arenas, en el resto se observó una predominancia de limos y arcillas. Contenidos de materia orgánica fueron visibles en el 61% de las obras. Al momento de la visita, el 8.2% de las obras se encontraban llenas, sin embargo el promedio de llenado de las obras es del 28% y solamente el 3.5% se encontraron sin un volumen visible de sedimentos retenidos.

Una de las lecciones aprendidas es que el sedimento colectado y su volumen están más relacionados con el grado de intemperismo de la roca localizada aguas arriba de la obra y de la densidad de su cobertura vegetal que en su posición en la línea de descenso del cauce y/o de la pendiente del terreno. Esto es que el llenado de las presas filtrantes no necesariamente inició de la parte más elevada hacia abajo, pero iniciando en la zona con menor cobertura vegetal o mayor nivel de intemperismo de la roca. Se observó que zonas con una pendiente elevada pero con buena cobertura vegetal, las presas filtrantes no presentaban un volumen significativo de sedimentos atrapados.

El contenido de humedad del sedimento colectado se evaluó únicamente de manera visual considerando la presencia de sedimento seco, sedimento húmedo o agua acumulada. Los resultados mostraron que el 66.9% de las obras presentaron sedimento seco; en el 24.1% el sedimento se encontró húmedo; y en el 9% se observó la presencia de agua en el sitio como resultado del flujo base por presencia de manantiales principalmente. Se consideró que la humedad del sedimento fue resultado de la nevada ocurrida 4 semanas antes de la visita de evaluación y de la exposición de la pendiente con respecto al sol.

El análisis de las obras que resistieron el empuje del flujo (86.9%) así como de las destruidas total o parcialmente (13.1%) permitió desarrollar un prototipo de presa filtrante de piedra acomodada donde la parte del “delantal” desciende desde el vertedor hasta el fondo del cauce, en forma de tobogán, lo que le permite acuñarse en el fondo del cauce. Otro elemento es el acomodo de rocas siempre en ángulos obtusos en todas sus orillas, lo que impide que las rocas caigan fácilmente. Se considera que el espaciamiento del vertedor debe ser al menos la  $\frac{1}{2}$  de la longitud total de la presa para facilitar la salida del flujo de agua al llenarse la presa. Finalmente, es recomendable construir presas filtrantes en forma de semi-arco con el objetivo de encauzar el flujo hacia el vertedor para favorecer un desagüe más rápido y reducir la presión hídrica en las paredes del cauce.

## EVALUACIÓN BIÓTICA

Los resultados observados en la zona de influencia de cada obra construida muestra la presencia de pastos en el 75.4% de los casos, herbáceas en un 33.9% y especies mayores en el 18.7% de los sitios. Los renuevos encontrados fueron *Pinus spp*, *Quercus spp* (encino), *Juniperus spp* (táscate), pasto, te milagro, fresa silvestre, junco y *Arctostaphylos pungens* (manzanilla). El tamaño promedio de los renuevos fue de 7.5 cm para las pináceas, 18 cm para el táscate y 11.9 cm para el encino. La altura de las pináceas es equivalente a un año de edad lo que pudiera mostrar que los individuos que nacieron y crecieron antes del llenado de la presa no sobrevivieron por haber sido sepultados por la acumulación de sedimentos durante la siguiente temporada de lluvias o donde el arrastre o acumulación fue casi nulo.

La presencia de fauna mayor se identificó por la presencia de huellas en suelo, madrigueras construidas, excretas, rastros de alimento o avistamientos. En el 70% de las obras evaluadas no se observó ningún rastro de fauna, en el 27.9% se detectaron rastros claros de ella y en el 2.1% se logró avistar alguna especie de fauna mayor. Las especies rastreadas incluyeron ardillas, lagartijas, coyotes, venados, zorros, codorniz, roedores y pájaros. En sitios con acumulación de agua se identificaron huellas de venado, mapache y guajolote silvestre. Se observó que las estructuras de piedra acomodada favorecen el desarrollo de hábitat de especies como la ardilla, lagartija, víbora y roedores.

## EVALUACIÓN DE LA PERCEPCIÓN SOCIAL

Los resultados de las entrevistas realizadas muestran que los beneficiarios observan y valoran la importancia de la cobertura vegetal para la conservación del suelo por lo que se sienten orgullosos y satisfechos de haber participado en el proyecto para su comunidad. Los resultados de las entrevistas se sintetizan a continuación:

- Concientización de los participantes en aspectos de conservación de los recursos forestales. Reconocen el incremento de la disponibilidad espacial y temporal de agua para las comunidades y el entorno ambiental gracias a la conservación de sedimentos y suelo, la acumulación de materia orgánica, el crecimiento de pasto, la disminución de la erosión de tierras agrícolas en los valles y la renovación de especies arbóreas mayores.

- Sentimientos de satisfacción y orgullo por participar y visualizar los resultados. Al inicio del proyecto desconocían el beneficio de las obras que construían, lo consideraban un trabajo inútil que desarrollaban únicamente por el salario, sin capacitación previa se generó apatía hacia el trabajo.
- Reducción de la migración temporal de las comunidades de la Sierra Tarahumara al contar con empleo temporal. La generación de jornales en una de las zonas de mayor marginación fue muy valorado por las comunidades.
- Valoran la integración de la mujer en las actividades de conservación de suelo y agua.

## LECCIONES APRENDIDAS

La organización del trabajo de conservación de suelos a partir del concepto de microcuenca, enfoca los esfuerzos económicos y humanos en un área relativamente pequeña que permite a la población observar los cambios, impactos y beneficios del trabajo desarrollado.

La falta de comunicación clara y precisa a la comunidad del proyecto por realizar ocasiona un desinterés colectivo. Es recomendable la sensibilización de la comunidad mediante su capacitación previa relacionada con el proyecto y los beneficios socioeconómicos y ambientales que generará la conservación de suelo.

Es necesario que los programas de conservación de suelo-agua-vegetación integren u componte de capacitación del personal técnico que participará en el proyecto en aspectos de hidrología, de conservación de recursos naturales y de sustentabilidad ambiental.

La construcción de las primeras obras mantuvo el criterio de respetar la distancia entre presas filtrantes estipulada por el manual (CONAFOR, 2007), desaprovechando los apoyos naturales del cauce del arroyo (grandes rocas y árboles) encontrados en el cauce para incrementar la resistencia de la obra.

¿Hasta donde deben construirse presas de piedra acomodada en un cauce secundario o terciario para que su probabilidad de permanencia sea alta? Una regla simple puede ser considerar el tamaño de las rocas en tránsito dentro del cauce, las cuales son un indicador de la energía del flujo hídrico: La lección aprendida es iniciar en la parte alta del arroyo primario, continuar con el secundario o terciario o hasta donde se encuentren rocas en el cauce no mayores a la altura de la cintura de una persona.

Iniciar la construcción de las obras de conservación de suelo en la parte alta de la microcuenca y continuar cuesta abajo, de acuerdo a como lo estipulan los manuales de conservación de suelos. En caso de que el cauce inicie fuera de los límites de la propiedad comunal es necesario integrar al proyecto a los ejidos o propietarios correspondientes, o en el último caso cancelar la construcción en el cauce compartido por dos propietarios.

Para el caso de construcción de presas filtrantes con gaviones es altamente recomendable capacitar a la población a tejer la malla de alambre inoxidable. La compra de gaviones consumió el 50% del costo total de la obra, ahora estos recursos se invierten en empleo temporal para la comunidad.

## 5 AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Gobierno del Estado de Chihuahua quien a través de la Dirección de Desarrollo Forestal de la Secretaría de Desarrollo Rural y en trabajo conjunto con la Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte aportaron recursos para la conservación de suelo, agua y vegetación de la cuenca alta del Río Conchos en la Sierra Tarahumara para la conservación de la biodiversidad y el beneficio de las comunidades Tarahumaras.

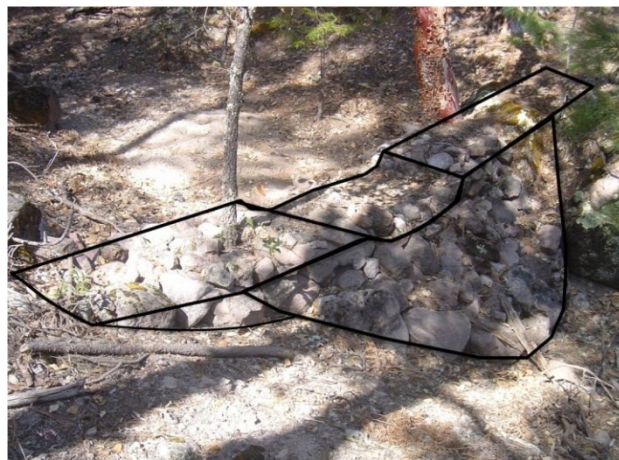
## 6 REFERENCIAS

- Kondolf, G.M. 1995. Five elements for effective evaluation of stream restoration. *Restoration Ecology* 3(2):133-136.
- WWF 2008a. Análisis de cambios multitemporales en la Ecoregión Desierto Chihuahuense, *informe técnico*, WWF-México. Consultor Protección de la Fauna Mexicana, A.C., convenio KE40.
- Arriaga, L., Aguilar V., Alcocer J. 2002. "Aguas continentales y diversidad biológica de México". *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México.
- Kim, T.W., Valdés J. B., Aparicio J., 2002. Frequency and spatial characteristics of droughts in the Conchos River Basin, Mexico. *Water International*, v. 27, n. 3, pp. 420-430.
- Reyes-Gómez V.M., Núñez, D., Muñoz C.A., Rodríguez J. A., Gadsden, H., López M., Hinojosa O. Caracterisation de la secheresse hydrique dans le bassin versant de la riviere Conchos, Etat de Chihuahua, Mexique.
- WWF, 2008b. Decisiones para nuestro futuro, planes rectores comunitarios: Versiones didácticas fichas técnicas de cuatro núcleos agrarios de la cuenca alta del río Conchos. WWF-México. Pp. 96.
- Diario Oficial de la Federación, 2008. ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Río Bravo 1, Río Bravo 2... Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Nieto-Samaniego, A.F., Ferrari L., Alaniz-Alvarez S. A., Labarthe-Hernandez G. y Rosas-Elguera J., 1999. Variation of Cenozoic extension and volcanism across the southern Sierra Madre Occidental volcanic province, Mexico. *GSA Bulletin*; March 1999; v. 111; no. 3; p. 347-363
- Ferrari L., Valencia-Moreno M., Bryan S. 2005. Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* volumen conmemorativo del centenario, temas selectos de la geología mexicana. Tomo LVII, n. 3, p. 343-378.
- Cotler, H., 2007. Características y manejo de suelos en ecosistemas templados de montaña. Instituto Nacional de Ecología. Disponible en <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/395/cotler.html> (último acceso 15 marzo 2013)
- INEGI, 2005, Censo de Población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- WWF, 2005. Zonificación del Uso Potencial del Suelo, Zona de Recarga Básica, Cuenca del Río Conchos. Informe técnico de Protección de la Fauna Mexicana, A.C, convenio KF10. WWF-México.
- Felger, S.R and Wilson M. 1994. Northern Sierra Madre Occidental and Its Apachian Outliers: A Neglected Center of Biodiversity, p. 46.
- Lammertink, De B., J. T. Fisher, P. A. Glass, & J. T. Harrington, 1997. Temperate Pines of Northern Mexico: Their Use, Abuse, and Regeneration. p 169
- Guerrero, M. T., Villa F., Kelly, M., Vegter B., 2001. The forest industry in the Sierra Madre of Chihuahua: Social, economic, and ecological impacts post-Nafta. *Texas Center for Policy Studies*. P. 48.
- Mass J. M. y García-Oliva F. 1990a. La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México. *Ciencia y Desarrollo* vol. XV ( 90): 21-36pp.
- Maass, M. M., García-Oliva F. 1990b. La investigación sobre la erosión de suelos en México. Un análisis de la literatura existente. *Ciencia* 41:209-228.
- Pagiola S. 1999. The global environmental benefits of land degradation control on agricultural land. *World Bank Environment Paper* n° 16, Washington D. C.
- CONAFOR, 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales: manual de obras y prácticas. Comisión Nacional Forestal de la SEMARNAT. 3ª edición, pp. 298.





**Figura 1.** Localización de la cuenca alta del río Conchos en la Sierra Tarahumara y sus principales comunidades



**Figura 2.** Presa modelo con alta resistencia al empuje hídrico, con un amplio delantal (parte delantera) que inicia desde el vertedor y continua hasta el fondo del cauce.



# UNA RELACIÓN DE INDICADORES Y CLAVES ANALÍTICAS DEL RELIEVE COMO UNA APROXIMACIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA ESTRUCTURA ESPACIAL DE LAS VERTIENTES: CASO DE ESTUDIO, UN SECTOR DE LA VERTIENTE EXTERNA DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL

Mario Arturo ORTIZ PÉREZ<sup>a</sup>, Rita Minerva GARCÍA FORTIS<sup>b</sup>

<sup>a</sup> **Instituto de Geografía, Dirección:** Circuito Exterior s/n, Cd. Universitaria, Deleg. Coyoacán, México, D.F., email: [maopmex@gmail.com](mailto:maopmex@gmail.com)

<sup>b</sup> **Instituto de Geografía, Dirección:** Circuito Exterior s/n, Cd. Universitaria, Deleg. Coyoacán, México, D.F., email: [ritaminerva.gf@gmail.com](mailto:ritaminerva.gf@gmail.com)

## RESUMEN

El propósito de este trabajo es poder llegar a cubrir un aspecto primordial escasamente estudiado de las cuencas hidrográficas, como son las vertientes; teniendo un doble propósito: abordar la vertiente como objeto concreto y específico de espacio geográfico; y verla como la imagen de estudio perceptual y científico, generando nuevos indicadores y procedimientos, al proponer nuevas variables que expliquen y valoren la situación de las características orográficas relacionadas a los problemas de sus componentes geológicos y el de los elementos del relieve estructural, mismos que son ligados a la estructura hidrogeomorfológica del paisaje de las vertientes.

**Palabras clave:** Estructura Espacial, vertientes, pendientes, laderas

## 1 VERTIENTES DE MÉXICO

El estudio de las vertientes orográficas de las principales cadenas montañosas de México es deficiente, ya que refleja un escaso conocimiento si consideramos que los mayores aportes al respecto se deben a los trabajos de carácter fisiográfico realizados hace más de cincuenta años, antes de la existencia de INEGI. Para aquella época se carecería del material básico de análisis como es la cartografía a diversas escalas, las imágenes aéreas y de satélite; por eso pensamos que ahora es el momento oportuno para revisar dicho material e interpretar con una explicación más precisa la distribución y disposición de las vertientes.

### ANTECEDENTES TEÓRICOS

Con este trabajo se pretende valorar las zonas funcionales, (cabeceras alta, media y baja) en la distribución de los pisos fitoclimáticos en términos de méritos de conservación, basados en el significado y función de los elementos y procesos naturales que se tienen lugar en cada una de las zonas referidas; estimando la fragilidad y vulnerabilidad de las vertientes a fin de ligar las amenazas de origen natural, los riesgos existentes como la degradación de suelos, la destrucción de tierras, la inestabilidad de laderas.

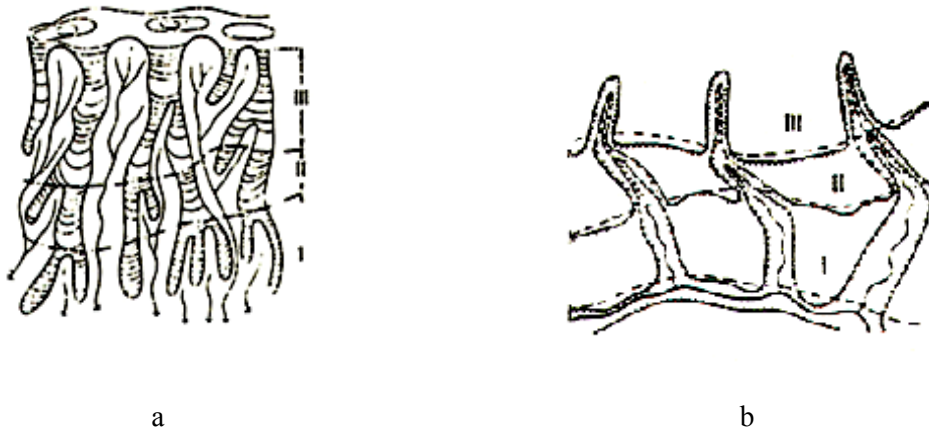
El análisis consiste en la identificación de los tres tipos de laderas postulados por Young, 1964: las pendientes de salto de cabecera, las pendientes de los flancos de los valles, y las pendientes de los interfluvios, midiendo la proporción en su distribución espacial, en función de su área, de la altura de las cabeceras, del grado de sinuosidad del parteaguas (vertical y horizontal), del grado de sinuosidad de nivel base de transición de la vertiente, de la profundidad de la disección fluvial, entre otro más.

Los antecedentes se adaptan con un nuevo enfoque derivado del soporte científico de los estudios de Young, 1964, King, 1962, Dalrymple, 1968, Selby, 1993, Varnes, 1958, y Ortiz, 2011; a partir de los cuales, se adoptan

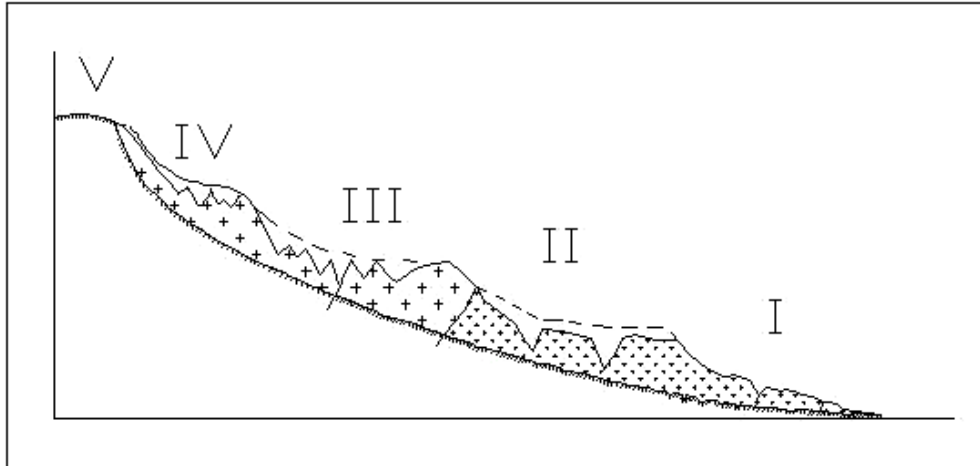
con renovadas innovaciones para ligar o relacionar con aspectos de morfología de laderas como un nuevo aporte al conocimiento de la estructura espacial del relieve, en el desarrollo evolutivo de las vertientes, en función de su sistema morfogenético expuesto anteriormente por Alfred Jahn, 1954, y Erhart, 1955, biostasia y rexistasia. De acuerdo con Ortiz (2012), la disposición de las rupturas de pendiente marcarán los cambios en el perfil longitudinal, con diferentes valores del gradiente en los declives de la vertiente. Las rupturas de pendiente representan el contacto de la articulación entre los cambios de carácter litológico y de formaciones superficiales. También pueden estar relacionadas con los procesos de ladera diferentes, incluso, estas rupturas de pendiente pueden tener un origen de carácter estructural y tectónico. De este modo, es posible clasificarlas y agruparlas de acuerdo a su origen con tres tipos de tipologías, según Kostenko, 1975:

- a) Rupturas de carácter litológico. Son las que se deben a la diferencia de resistencia de las rocas por cambios en la estructura y composición litológica distinguiendo por un lado, a la roca firme con fuerte cohesión y por el otro lado, a los materiales suaves, sueltos, poco consolidados y compactos.
- b) Rupturas de pendiente de carácter erosivo y la cicatriz por corrimiento de tierras. También pueden ser resultado de la disección regresiva o remontante de la disección fluvial. La expresión de la ruptura de origen erosivo visualizada en una vista en planta, se asemeja a una configuración ondulada de entrantes y salientes que corresponden respectivamente a los circos denudatorio-erosivos, también conocidos como saltos de cabeceras, los cuales se usan para designar el nacimiento del escurrimiento concentrado de órdenes primarios.
- c) Ruptura de pendiente de carácter tectónico-estructural. Son formadas por el desplazamiento de fallas geológicas que rompen el armazón estructural de las laderas en una expresión de bloques. Así mismo, se considera que son originadas por cualquier movimiento estructural de características endógenas.

Una manera de conocer la expresión morfológica de la vertiente, es medir el grado de irregularidad de la ladera que se obtendría contando el número de rupturas que cortan el perfil longitudinal de la ladera tal como se observa en la figura 1.



**Figura 1.** Ejemplos de interpretación de rupturas de pendiente en la cartografía de la topografía, figura 1.a, en los interfluvios secundarios las curvas de nivel van a mostrar las rupturas de pendiente transicional, figura 1.b, cuando la ruptura se presenta tanto en los interfluvios como en el mismo fondo de los valles. (Kostenko, 1975).



**Figura 2.** Perfil longitudinal del río colector y el de la vertiente correspondiente, en donde se exponen las diferentes fases de incisión fluvial, limitadas por una diferenciación clara de rupturas de pendiente de carácter tectónico y litológico. Zonificando la vertiente en cinco trechos bien definidos. (Kostenko, 1975).

## DISPOSICIÓN Y ARREGLO DE LAS VERTIENTES EN MÉXICO

Cada una de las cadenas montañosas tuvo una formación geológica-histórica diferente, por tal razón la geología y morfología de los elementos orográficos tienen una disposición y arreglo diferente en México, y por lo mismo modulan la distribución de los climas en función de su altura y por tanto, la distribución de los ecosistemas como soporte de vida. Son muy importantes de acuerdo a su grado de hipsometría (altura) en la existencia de una mayor diversificación de pisos bioclimáticos. De este modo vemos que las vertientes son sistemas complejos en donde entra en juego la diversa naturaleza de la esfera geográfica, en los cuales tiene que ver con:

- 1) Estilos estructurales relacionados con su origen (volcánicos, de plegamiento, de bloques)
- 2) Estructura espacial de su localización, disposición y exposición observada a través de la morfografía (dimensiones, altura y morfología).
- 3) Constituyen barreras geográficas que captan y limitan el libre paso de materia, energía e información, separando, regulando y guiando su distribución; así mismo, también actúan impidiendo la entrada de aire húmedo del mar, causando que las lluvias se concentren en los flancos externos de las vertientes que impiden que la humedad ascienda hacia la altiplanicie central y septentrional. Solamente en el caso de México, en los trópicos, la existencia de barreras geográficas va a provocar zonas áridas muy importantes en latitudes tropicales, como por ejemplo la depresión central de Chiapas.
- 4) Pisos bioclimáticos de las vertientes funcionan como soporte de vida en un declive con un gradiente biodiverso, ofreciendo la oportunidad de satisfacer las necesidades sociales a través de los bienes y servicios ambientales.

## VARIABLES UTILIZADAS

Un aspecto primordial de la caracterización de las cuencas hidrográficas es la morfología de las vertientes y para ello se usaron los indicadores siguientes:

- 1) La continuidad de la longitud de la divisoria. Es el indicador de que tan integrado se mantiene la longitud de la divisoria sobre una misma estructura orográfica sin cambios significativos de rumbo o de altitud.
- 2) Altura relativa de la divisoria. Es el promedio de un conjunto de valores altitudinales que miden desnivel entre el nivel base a las cumbres. Una mayor elevación de la divisoria, creará una barrera orográfica, indicando una mayor actividad tectónica de levantamiento; y por tanto tendrá una mayor energía potencial que realimentará y se traduce en una mayor energía cinética de los escurrimientos y una mayor energía física de los gradientes de pendiente y perfiles longitudinales de los cursos fluviales y la posibilidad de llevar una carga elevada de sedimentos. En una posición contraria, o en antípoda sería el comportamiento con tendencia a la estabilidad representada por la baja altura de la divisoria.
- 3) Sinuosidad de la divisoria. Es la distancia que recorre el parteaguas entre dos puntos determinados. Se aplica para indicar el grado de evolución e intervención de los cauces que dieron alcance en altura para modelar el parteaguas. Así entre más recta sea la línea del parteaguas, indicara un menor grado de erosión, Entre más sinuoso sea, nos indica que la erosión ha recorrido los flancos, llegando y modelando la divisoria. El grado de sinuosidad se puede representar con los valores en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Grado de Sinuosidad

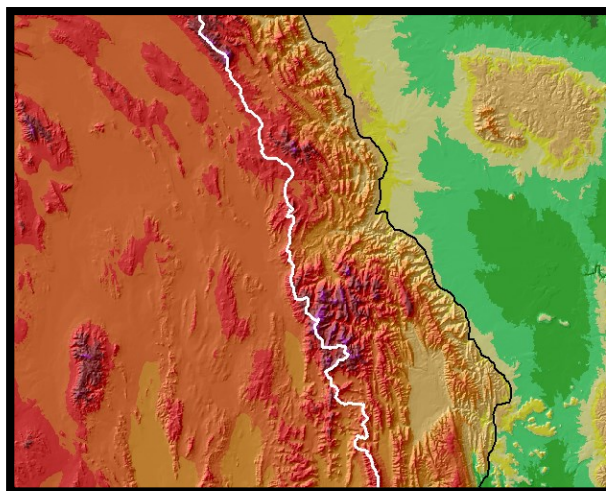
<b>Grado de Sinuosidad</b>	<b>Sinuosidad</b>
1	Recto
1.1	Ligeramente sinuoso
1.2	Medianamente sinuoso
1.3	Sinuoso
1.4	Muy sinuoso
1.5	Extremadamente sinuoso

- 4) Sinuosidad de la base del frente montañoso. Se medirán y compararán los índices de sinuosidad para ligar el trazo de las entrantes y salientes del frente montañoso con el grado disección de la vertiente, por erosión fluvial y con la actividad tectónica, pues entre menor sea el valor de sinuosidad, habrá un mayor control estructural del levantamiento y de las fallas activas en la base de la vertiente. Los valores de la Tabla 1., también se usan como indicador de ésta variable.
- 5) Litología. Es la parte de la Geología, que se encarga del estudio de las rocas. En este caso, nos ayudará a determinar el tipo de rocas y su distribución, ligándolo a la resistencia de remoción, y esto se relaciona determinando los diferentes gradientes de pendiente y los de densidad hidrográfica, haciendo mediciones a través de ventanas seleccionadas.

## 2 RESULTADOS

De acuerdo a las características del valor de la hipsometría, al rumbo de los ejes orográficos, al estilo estructural del relieve, de la Sierra Madre Oriental se identifican y se definen cuatro sectores para hacer las observaciones de este trabajo.

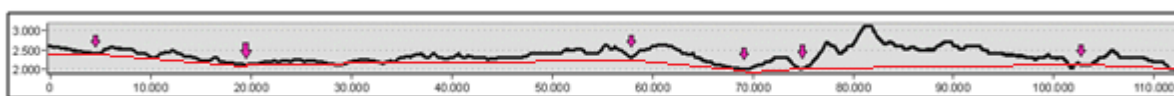
El siguiente sector centro – norte, se aprecia la imagen del tramo seleccionada para calcular algunas de las variables antes expuestas.



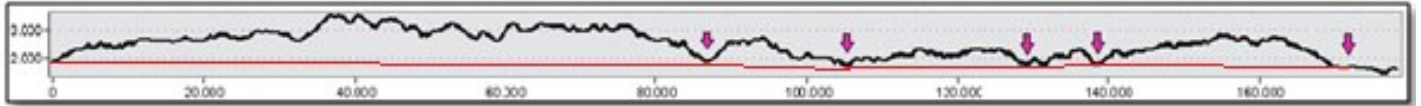
**Figura 4.** Sector de la Sierra Madre Oriental que se usó para el estudio de caso.

**Tabla 2.** Resultados

Indicadores	Sector Norte	Sector Meridional
Longitud de la divisoria	109,045.13 m.	178,421.32 m.
Altura relativa de la divisoria	1,500 m.s.n.m.	2,000 m.s.n.m.
Sinuosidad de la divisoria	1.1	1.2
Sinuosidad del frente montañoso	1.1	1.2
Litología predominante	Caliza, lutita y yeso	Caliza, lutita y arenisca
Continuidad del Parteaguas	21 cortes	13 cortes



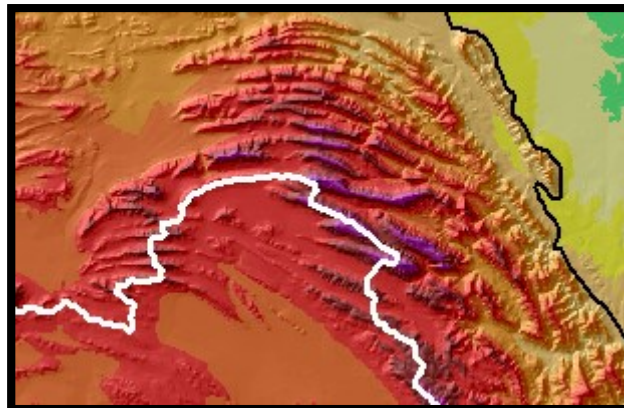
**Figura 5.** Perfil longitudinal de la divisoria en su sector norte de la Sierra Madre Oriental, las flechas indican cambios de sinuosidad vertical corresponden así mismo, a trechos con de mayor sinuosidad horizontal.



**Figura 6.** Perfil longitudinal del sector centro-meridional de la Sierra Madre del Oriental. las flechas indican cambios de sinuosidad vertical corresponden así mismo, a trechos con de mayor sinuosidad horizontal.

Como se puede apreciar en los datos de los resultados de las zonas de observación, existen dos tramos de la cordillera con diferentes características hipsométricas y geométricas. Con esto se observó que uno de los segmentos orográficos, el tramo norte, tiene una altura relativa de 1,500 m. en una posición más bajo que el tramo meridional. Probablemente este desnivel regional se debe a la última fase de ajuste distendido de la orogénesis, obteniendo como resultado un estilo estructural de bloques. Toda vez que contacto tectónico establecido entre la unión de estos dos segmentos orográficos se descomponen en un esfuerzo de cizalla que origina la diferencia de altura entre las dos regiones de la sierra en cuestión.

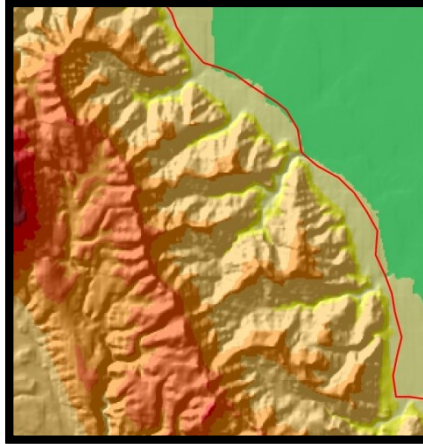
Por su parte, la sinuosidad está determinada por un parteaguas que fue trazado sobre las partes más altas, y que justo en ese trazo de topografía de umbrales va siguiendo los puntos más altos de la cordillera que corresponde a juegos de pliegues doblemente buzantes, disposición que obliga a la divisoria a seguir una trayectoria de trazo sumamente sinuoso al proyectarse hacia las partes más elevadas, cruzando de un pliegue a otro. Esta es una de las razones de los mayores desplazamientos de la sinuosidad horizontal, que a su vez va guiada por la sinuosidad vertical, ya que en el momento en el que el parteaguas se conecta con los umbrales más altos de cada pliegue, cruza por el declives de los pliegues sinclinales, como puede observarse en la figura 5.



**Figura 5.** Trayectoria de la divisoria en el sector norte de la Sierra Madre Oriental. Es notable la sinuosidad de la divisoria al no conservar una continuidad de la longitud sobre la misma estructura del pliegue.

En la siguiente figura, vemos la vertiente en la cual se incrementa el valor de la sinuosidad del nivel base local del frente montañoso con entrantes y salientes, las entrantes corresponden a la salida de los valles, La disección fluvial se relaciona una ruptura de pendiente erosiva que forma la misma divisoria, producto de la onda de erosión regresiva originada probablemente por cambio en el nivel base, de este modo se evidencia y se justifican los valores de sinuosidad del frente montañoso externo.





**Figura 5.** Porción de un trecho sector noreste de la Sierra Madre Oriental exhibiendo una disimetría en las características de la disección fluvial entre el flanco interior con mínima sinuosidad en la base de la vertiente mostrando un claro control estructural, mientras el flanco externo a la derecha, se expresa con una sinuosidad indicando un dominio de los procesos de erosión y acumulación sedimentaria.

Finalmente, queremos dejar constancia al corroborar la complejidad orográfica de la Sierra Madre Oriental para su estudio, ya que presentó muchos problemas por las diferencias que tiene en su arreglo espacial,. Aún así, se tuvo oportunidad de aplicar nuevos indicadores que mutuamente se realimentan y permiten ligar entre las variables propuestas, y las que fueron surgiendo posteriores a este estudio. De este modo, se replantean nuevos paradigmas a partir de los resultados preliminares, buscando siempre una aplicación general, en donde se pueda interpretar todos los estilos de relieve orográfico, aunque también se acepta la posibilidad de que no se tenga un procedimiento general para todas, pero que si se puedan llegar a enfocar con las variables propias de los estilos estructurales de bloque, de plegamiento, ígneos monolíticos, acumulativo volcánico y sedimentario.

### 3 AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración en cartografía y en aportes teóricos, a José Manuel Figueroa MaHeng, quien muy amablemente ayudó a la elaboración de este trabajo de investigación, regalándonos su tiempo y sus conocimientos.

### 4 REFERENCIAS

- Dalrymple, J.B., Blong, R.J., Conacher, A.J. 1968. *An hypothetical nine unit landsurface model*, Z. Geomorphol., 60-76.
- Erhart, H. 1655. *Biostasie el Rhexistasie, Esquise d'une theorie sur le role de la pedegenése en tant que phénomène geologique*, Comptes Rendus de la Academie de Sciences de Paris, 1218-1220.
- Grimson, L., et al. 2011. *Practical Handbook for Wetland Identification and Delineation*, CRC Press.
- Horton R.E. 1945. *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*, Geol. Soc. America Bull, 56: 275-280.
- Jahn, A. 1954. *Balance de denudation de versant*, Czasopismo Geogr., 38-64.
- King, L.C. 1962. *The Morphology of the Earth. A study of Synthesis of World Scenery*, Olver and Boyd, Edinburgh, 726 pp.

Kostenko, N. 1975. *Geomorfología Estructural*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Ortiz, M. 2011. *Algunos procedimientos para evaluar el arreglo de la estructura especial en cuencas hidrográficas: como herramienta del análisis de su diversidad natural*, 2do. Congreso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Tabasco, México, D.F.

Ortiz, M. 1990. *Perfiles geomorfológicos complejos*. Serie varia núm. 12, Instituto de Geografía

Selby, M. J. 1993. *Hillslope Materials and Processes*, Oxford University Press., Oxford, 451 pp.

Throe, F.R. 1965. *Landform equations fitted to contour maps*, Am. l. Sci, 236 pp.

Varnes, D.J. 1958. *Landslide types and process*, en E.B. Eckel (ed.) *Landslides and Engineering Practice*, "Highway Research Board Special Reports 29", National Research Council, Washington, 20-47.

Yamada S. 1999. *Mountain ordering: A method for classifying mountains based on their morphometry*, Earth Surface Process and Landforms, 24 p.

Young, A. 1964. *Slope Profile Analysis*, Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband, 5: 17-27.

# EFICIENCIA PREDICTIVA DE MODELOS HIDROLÓGICOS PARA CUENCAS POCO INSTRUMENTADAS

Gerardo ESQUIVEL ARRIAGA<sup>a</sup>, Palmira BUENO HURTADO<sup>a</sup>, Ignacio SÁNCHEZ COHEN<sup>a</sup>, Miguel Agustín VELÁSQUEZ VALLE<sup>a</sup>, Gerardo DELGADO RAMÍREZ<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias – Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango. Email: [esquivel.gerardo@inifap.gob.mx](mailto:esquivel.gerardo@inifap.gob.mx)

## RESUMEN

La modelación de procesos hidrológicos funge como una herramienta esencial en la planificación de recursos hídricos y en el diseño de obras que permitan la optimización del recurso agua en un sitio determinado. El escurrimiento es una de las variables que reflejan el comportamiento y estado de una cuenca, para ello se precisa el modelo WEAP (Water Evaluation and Planning System) y SWAT (Soil and Water Assessment Tool) como instrumentos eficaces en el proceso de cuantificación. El uso de los modelos se ejemplifica con la simulación del escurrimiento en la cuenca Suchiapa en la región hidrográfica Grijalva-Usumacinta en el estado de Chiapas. Se parametrizó cada modelo con las variables de entrada requeridas, se identificaron aquellas que tanto el modelo WEAP y SWAT requerían y se homologaron respectivamente para poder realizar la comparación de los resultados. Los índices utilizados para la evaluación de los modelos fueron: Nash-Sutcliffe, PBIAS y coeficiente de determinación mismos que resultaron en un mejor valor para el modelo SWAT, con respecto al modelo WEAP.

**Palabras clave:** modelación, hidrología, predicción, cuenca.

## 1 INTRODUCCIÓN

La modelación hidrológica es una metodología basada en la simulación de sistemas físicos a través de modelos fundamentados en funciones matemáticas empíricas y conceptuales que permite simular el caudal en base a datos propios de la cuenca. La modelación hidrológica como tal, comenzó a principios del siglo XIX utilizándose para el diseño de obras hidráulicas y hasta mediados del siglo XX se limitó a expresiones matemáticas simples para representar mecanismos individuales involucrados en los procesos del ciclo hidrológico (Mena, 2009).

Sin embargo, la evolución de los modelos hidrológicos agregados, distribuidos y semidistribuidos, se han actualizado con los avances computacionales, la disponibilidad de información proveniente de sensores remotos y las herramientas asociadas a los sistemas de información geográfica. Algunos de los modelos utilizados para describir procesos superficiales son: PMRS, MIKE-SHE, HICYMODEL, ANSWER, TOPMODEL (Islam *et al.*, 2012; Zhao *et al.*, 2012; Borges *et al.*, 2008), el modelo SWAT ampliamente utilizado en procesos hidrológicos (Welderufael *et al.*, 2013; Saghafian *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2012) y el modelo WEAP (Hao *et al.*, 2011, SEI, 2007).

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo hidrológico diseñado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos en conjunto con la Universidad de Texas, y el modelo WEAP (Water Evaluation

And Planning System) fue desarrollado por el SEI (Stockolm Environment Institute). El objetivo principal de este estudio es analizar los procesos de escurrimiento de la cuenca Suchiapa en el estado de Chiapas, México mediante la aplicación y comparación de los resultados de estos dos modelos hidrológicos.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Unidad básica de estudio

La cuenca Suchiapa se encuentra en el estado de Chiapas y pertenece a la Región Hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta, se localiza en las coordenadas geográficas 16° 43' 49'' y 16° 11' 33'' latitud norte, 93° 01' 01'' y 93° 44' 35'' longitud oeste. Es una cuenca de tipo exorreica con una superficie de 2046 km<sup>2</sup>, presenta elevaciones que oscilan de 420 a 2500 m de altitud con una pendiente media del 30 %, el tipo de vegetación predominante es selva mediana subperennifolia (INEGI, 2013) (Figura 1), la temperatura media anual es de 24.6 °C y la precipitación promedio anual oscila en 1162 mm (IMTA, 2009).

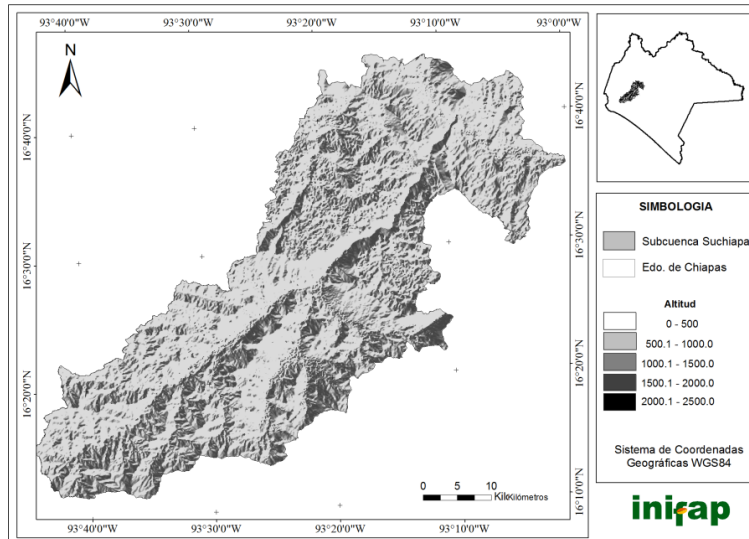


Figura 1. Cuenca Suchiapa de la RH30

### Parametrización de los modelos

Los modelos utilizados fueron WEAP v. 3.4 y SWAT 2009. La información climática se obtuvo del ERIC III v.2 (Extractor Rápido de Información Climática) y la información hidrométrica del BANDAS (Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales) de la Comisión Nacional del Agua, los parámetros de uso de suelo y vegetación se obtuvieron a partir de la serie II (1993) de INEGI. La información utilizada en los dos modelos fueron los parámetros físicos de la cuenca, información climática e hidrométrica.

## Criterios de eficiencia

Para determinar las técnicas recomendadas para la evaluación de modelos, una extensiva revisión de literatura publicada se llevó a cabo relacionada con los procesos de calibración, validación y aplicación de modelos hidrológicos. Específicamente, la información se enfoca en compilar las fortalezas y debilidades de cada estadística técnica y gráfica, y en las recomendaciones para su aplicación (Moriasi *et al.*, 2007). Los índices utilizados para estimar la eficiencia predictiva de los modelos fueron: Nash-Sutcliffe, PBIAS y coeficiente de determinación.

**Nash-Sutcliffe** es una estadística normalizada que determina la magnitud relativa de la varianza residual comparada con la varianza de los datos medidos (Nash y Sutcliffe, 1970), el cual se calcula con la Ecuación 1:

$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i\text{ obs}} - Y_{i\text{ sim}})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{i\text{ obs}} - Y_{\text{media}})^2} \right] \quad (1)$$

Donde  $Y_{i\text{ obs}}$  constituye el  $i$ -ésimo valor observado que está siendo evaluado,  $Y_{i\text{ sim}}$  compone el  $i$ -ésimo valor simulado que está siendo evaluado,  $Y_{\text{mean}}$  es la media de los datos observados, y  $n$  es el número total de observaciones (Moriasi *et al.*, 2007).

**PBIAS** mide la tendencia promedio de los datos simulados a ser más grandes o más pequeños que los datos observados. El valor óptimo de PBIAS es 0.0, con valores de magnitud exacta indican la precisión del modelo de simulación. Valores positivos indica subestimación del modelo, y valores negativos indican una sobrestimación del modelo (Gupta *et al.*, 1999). PBIAS es calculado con la Ecuación 2, donde **PBIAS** es la desviación de los datos evaluados, expresados como un porcentaje (%),  $Y_{i\text{ obs}}$  son los valores observados,  $Y_{i\text{ sim}}$  son los valores simulados y  $n$  es el número total de observaciones.

$$PBIAS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i\text{ obs}} - Y_{i\text{ sim}}) * (100)}{\sum_{i=1}^n (Y_{i\text{ obs}})} \right] \quad (2)$$

**El coeficiente de determinación  $r^2$**  se define como la raíz cuadrada del valor del coeficiente de correlación de Bravais-Pearson, el cual es calculado con la Ecuación 3:

$$r^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) (P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (3)$$

Donde  $r^2$  es el coeficiente de determinación,  $O_i$  es cada una de las  $i$  observaciones,  $P_i$  es cada uno de los  $i$  datos simulados,  $\bar{O}$  es la media de los datos observados,  $\bar{P}$  es la media de los datos simulados y  $n$  es el número total de observaciones (Krause *et al.*, 2005).

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

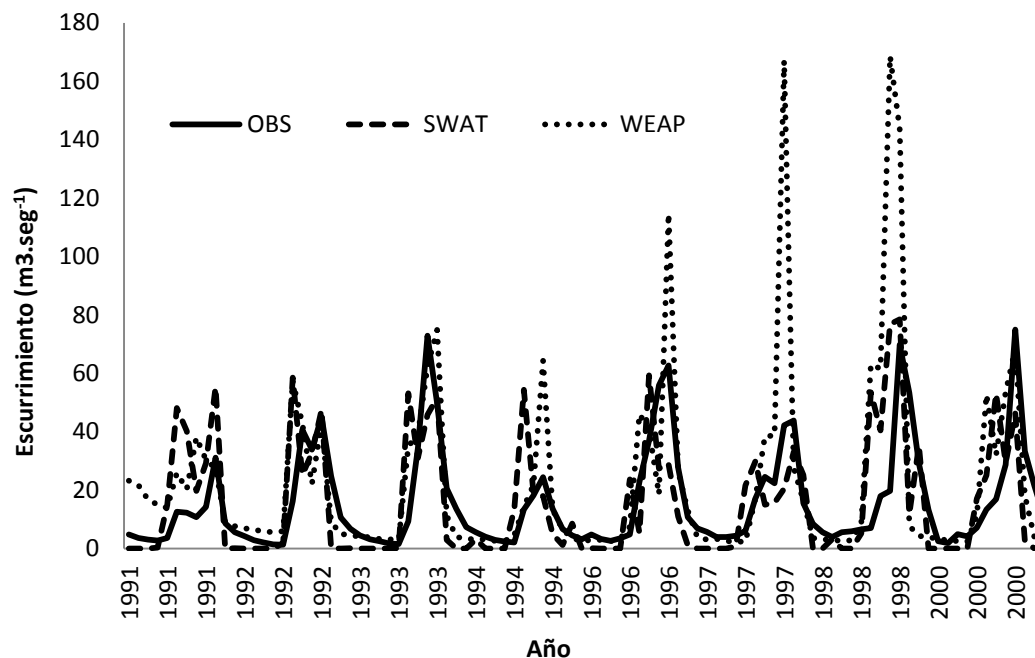
Se realizó la comparación de los dos modelos hidrológicos, considerando parámetros físicos equivalentes entre ambos, los que se señalan en el cuadro 1 para el proceso de escurrimiento solamente:

**Cuadro 1.** Parámetros equivalentes entre el modelo SWAT y WEAP

<b>Parámetro</b>	<b>SWAT</b>	<b>WEAP</b>
Capacidad de retención de agua en la primera capa de suelo	Sol_Awc	Soil water capacity
Condición del contenido inicial de humedad	CN2	Z1, Z2
Conductividad hidráulica de la primera capa de suelo	Sol_k	Root Zone conductivity, Deep conductivity
Valor de curva numérica	CN	Runoff resistance factor (RRF)

En el modelo WEAP el parámetro Runoff Resistance Factor (RRF= factor de resistencia al escurrimiento), significa lo opuesto al parámetro CN (Curva Numérica) en SWAT. Es decir, mientras más alto el RRF el escurrimiento será menor y mientras más alto el valor de CN el escurrimiento será mayor.

La representación gráfica de los datos observados vs los datos modelados para los modelos utilizados se muestra en la Figura 2. Como se puede apreciar, los valores arrojados por WEAP presentan sobreestimaciones consideradas al final del periodo evaluado, en contraste con el modelo SWAT el cual conserva la tendencia respecto a los valores observados.



**Figura 2.** Ecurrimiento observado y modelado con los modelos SWAT y WEAP

Respecto a los índices de eficiencia utilizados con base en Moriasi *et al* (2007) se establece lo siguiente: para el modelo SWAT respecto al índice de Nash-Sutcliffe la modelación se considera satisfactoria ya que presenta el valor de 0.50 el cual está en los rangos permisibles de aceptación. Respecto al índice de eficiencia PBIAS se considera “Bueno” al resultar con un valor de 12%, y estar dentro del rango 10% a 15%. Sin embargo, para el coeficiente de determinación el valor de  $r^2$ , presentó un valor de 0.40 por lo cual en base a este índice de eficiencia no se considera aceptable.

Para el modelo WEAP, el índice de Nash-Sutcliffe resultó en un valor de 0.70 el cual se considera satisfactorio, a pesar de que al final de la modelación se sobreestima, esto se compensa con las primeras simulaciones las cuales presentan la misma tendencia en base a los datos observados. Para el índice de eficiencia PBIAS se considera “razonable” al resultar con un valor de 18%, al estar en el rango de 15 a 25 %. Sin embargo, para el coeficiente de determinación el valor de  $r^2$ , presentó un valor de 0.60 por lo cual en base a este índice de eficiencia no se considera aceptable.

#### 4 CONCLUSIONES

En base a las comparaciones realizadas en los dos modelos y dada la información disponible de los parámetros físicos de la cuenca, climática e hidrométrica, el modelo SWAT representa de forma aceptable la modelación del escurrimiento, en contraste con el modelo WEAP. Esto con base en la homologación de los parámetros encontrados como equivalentes para el cálculo de escurrimiento en cada uno de los modelos.

Los resultados de ambos modelos no han sido calibrados pues ese proceso sale de los objetivos del presente estudio. Sin embargo, es menester mencionar que para un adecuado proceso de calibración, es necesario el análisis de sensibilidad para identificar aquellos parámetros a modificar buscando siempre no arribar a combinaciones aberrantes de parámetros en aras de un buen ajuste.

Previo a la elección de cualquier modelo de simulación hidrológico, se tienen que considerar los siguientes aspectos:

- **Objetivo del estudio:** En este apartado es necesario establecer el dominio del estudio contestando la interrogante de que se desea alcanzar. Puede suceder que se esté buscando el uso de un modelo complejo para una variable respuesta simple.
- **Precisión buscada:** independientemente de que los modelos estudiados tengan distintos comportamientos, es necesario entender que ambos sirven a diferentes propósitos. El modelo WEAP es un modelo de gestión hidrológica mientras que el modelo SWAT es un modelo para estudiar relaciones causa efecto; sin embargo, su comparación es pertinente dado que los procesos que analizan son similares o equivalentes.
- **Información disponible:** Aquí se debe partir del principio de que el problema o situación implica el uso de algún modelo pero no en sentido contrario. En este sentido, la información disponible juega un papel preponderante a la hora de elegir algún modelo.

## 5 REFERENCIAS

- Mena P. D. I. 2009. Análisis de impactos del cambio climático en la cuenca andina del río Teno, usando el modelo WEAP. Tesis. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile.
- Islam A., Sikka A. K., Saha B. and Singh A. 2012. Streamflow response to climate change in the Brahmani River Basin, India. *Water Resources Management*. 26:1409-1424.
- Zhao H., Zhang J., James R. T. and Laing J. 2012. Application of MIKE SHE/MIKE 11 Model to structural BMPs in S191 Basin Florida. *Journal of environmental informatics* 19(1) 10-19.
- Borges C. P. L., Valmir S. R., Kobiyama M. 2008. Rainfall-runoff process analysis of the pequeno river catchment, Curitiba metropolitan region, Brazil, with two hidrological models. *Revista Ambiente & Água – an Interdisciplinary Journal of Applied Science* V. 3. N. 3.
- Welderufael W. A., Woyessa Y. E. and Edossa D. C. 2013. Impact of rainwater harvesting on water resources of the modder river basin, central region of south Africa. *Agricultural Water Management* 116, 218-227
- Saghafian B., Sima S., Sadeghi S. and Jeirani F. 2012. Applications of unit response approach for spatial prioritization of runoff and sediment sources. *Agricultural Water Management* 109, 36-45.
- Singh A., Imtiyaz M., Isaac R. K. and Denis D. M. 2012. Comparison of soil and water assessment tool (SWAT) and multilayer perceptron (MLP) artificial neural network for predicting sediment yield in the Nagwa agricultural watershed in Jharkhand, India. *Agricultural Water Management* 104, 113-120.
- SEI (Stockholm Environment Institute). 2007. WEAP (Water Evaluation And Planning System) User Guide for WEAP 21. Curtis Avenue Somerville, MA. USA
- INEGI (Instituto Nacional de Información Estadística, Geografía e Informática). 2013. Portal del Simulador de flujos de agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL). Aguascalientes, Ags, México. [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/index.html#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/index.html#)
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2009. Extractor Rápido de Información Climatológica III, v. 1.0. Información climatológica disponible en formato electrónico. Jiutepec, Morelos, México.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. y Veith, T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. Vol. 50(3):885-900.
- Gupta, H. V., S. Sorooshian, and P. O. Yapo. 1999. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *J. Hydrologic Eng.* 4(2): 135-143.
- Nash, J. E., and J. V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles. *J. Hydrology* 10(3): 282-290
- Krause, P., Boyle, D.P., Bäse, F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5, 89-97



# CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE ESCURRIMIENTOS (BARRANCAS) DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO.

Miguel Francisco CARREÓN-COCA<sup>1</sup>, Juan SUÁREZ-SÁNCHEZ<sup>3</sup>, S. CHAMIZO-CHECA<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Doctorado en Ciencias Ambientales. CIGyA. Universidad Autónoma de Tlaxcala.

<sup>2</sup>Licenciatura en Ciencias Ambientales. *CA Ecología*, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

<sup>3</sup>Laboratorio de Medio Ambiente. Universidad Autónoma de Tlaxcala

## RESUMEN

El estudio se realizó en la región norte de la cuenca del río Zahuapan, ubicada en el estado de Tlaxcala, México. Se analizaron las variables de calidad de agua (SDT, SST, DBO y OD) en cinco puntos del río Zahuapan en la zona de estudio. Posteriormente se seleccionaron 6 escurrimientos (barrancas) que drenan a dicho río. Cada barranca se recorrió en época de estiaje y se registraron los impactos de las actividades antrópicas que afectan la calidad del agua, así como las variables Conductividad, pH, SDT, OD y Temperatura de los escurrimientos. Finalmente se aplicaron 150 encuestas a personas que habitan cerca de las barrancas, para identificar la percepción de la problemática ambiental asociada al deterioro del río. Se observó que las descargas de aguas residuales son el principal contribuyente de la contaminación del río en la región norte de la cuenca, la erosión hídrica y los residuos sólidos le siguen en importancia; la pavimentación, la deforestación, el crecimiento poblacional (por consecuencia de construcción de casas), son los principales cambios que la gente percibe y que están asociados al deterioro de la calidad ambiental de la región. Aunque el 90% de los entrevistados reconocen los programas de reforestación, la deforestación es un problema importante; el 84% de los encuestados perciben una disminución del agua del río, pero solamente el 9% creen que está contaminado, de esa porción el 21% consideran que es por aguas residuales y residuos sólidos, 17% por deforestación, 13% por falta de lluvia, 11% por el escurrimiento de aguas residuales, fertilizantes y plaguicidas, 9% por el crecimiento de la población. Los encuestados consideran que la construcción de reservorios, cuidado de los árboles y preservación de los recursos naturales en general, son opciones viables para enfrentar esta problemática; el 75% de los encuestados no saben o consideran que no existen organismos en el río. Un plan de restauración del río para esta región deberá incluir al menos el manejo adecuado de los residuos sólidos y las aguas residuales, reforestación del área y manejo sustentable de los recursos naturales, apoyados por un fuerte componente de educación ambiental.

Palabras clave: Cuenca, Zahuapan, Barranca, problemática ambiental

## 1 INTRODUCCIÓN

El río Zahuapan transita de norte a sur en el estado de Tlaxcala, tiene una longitud de 75.4 Km y su cuenca se extiende en un área de 1725.524 Km<sup>2</sup> (Suárez *et al.*, 2011). En esta cuenca el recurso agua tiene dos principales problemas, la contaminación y la disponibilidad. La contaminación del agua en el río Zahuapan ha sido reportada por Muñoz (2007); Suárez *et al.*, (2008); Suárez *et al.*, (2009); Suárez *et al.*, (2011); Soto *et al.*, (2011); Valencia *et al.*, (2011) y Muñoz (2012), los que concluyen que los niveles actuales de contaminación son un riesgo para la población y ecosistemas que se desarrollan en dicha cuenca, principalmente los ecosistemas riparios. Esto demanda la inminente puesta en marcha de un proceso de restauración del río que garantice su salud y restablezca las funciones que los ríos brindan a la cuenca.

Las actividades antrópicas influyen en la calidad del agua de las cuencas, tanto en el agua subterránea (Rajkumar y Xu, 2011; Sosa, 2012) como en la superficial (Muñoz, 2012; Xiaoying y Ji, 2012; Wang *et al.*, 2009); esto empeora la situación en las zonas donde el agua es escasa o será escasa en un futuro inmediato, como es el caso

de la cuenca del Zahuapan donde se proyecta una disminución de la disponibilidad del agua per cápita (Carreón, 2008).

A grandes rasgos las fuentes de contaminación del agua se pueden clasificar en dos grupos, las fuentes puntuales y las no puntuales. La contaminación por fuentes no puntuales es la principal causa de los problemas de la calidad del agua en muchas cuencas, por ejemplo la contaminación por actividades agropecuarias (Xiaoying y Ji, 2010 y Batllori *et al.*, 2005). Un componente importante para el control de la contaminación de los ríos por fuentes no puntuales, es el entendimiento de la dinámica de la cuenca y cómo influye en la calidad del agua. Las fuentes puntuales, como las descargas de aguas residuales (tratadas o sin tratar), son más fáciles de controlar por su ubicación y sencilla evaluación.

Las cuencas son unidades básicas que ayudan a la planeación de lo que se encuentra dentro de estas, cada una presenta distintas problemáticas y diferentes grados de importancia, por lo que las acciones de restauración de sus ríos también difieren de una cuenca a otra. Los problemas que comúnmente afectan a la mayoría de las subcuencas del estado de Tlaxcala son la deforestación, pérdida de biodiversidad, residuos sólidos y descarga de aguas residuales (Suárez *et al.*, 2011 y Muñoz, 2012). Para el desarrollo de estrategias regionales o nacionales de administración sustentable del recurso agua es importante conocer el balance de agua a escala cuenca o subcuenca y la problemática asociada a su deterioro (Carreón 2008).

Ante el problema grave de contaminación del río Zahuapan, es necesario emprender acciones que permitan recuperar la calidad de su agua. El objetivo del presente trabajo es identificar la problemática ambiental de la subcuenca alta del río Zahuapan asociada a la contaminación del río, para generar información que sustente una propuesta integral para su restauración.

## 2 MATERIAL Y MÉTODO

El estudio se realizó en la región norte de la cuenca del río Zahuapan, ubicada en el estado de Tlaxcala, México. En una superficie de 424.238 Km<sup>2</sup> con una densidad poblacional de 59 hab Km<sup>-2</sup> (Suárez *et al.*, 2009). Los tipos de suelo predominantes en esta región son el feozem, litosol y andosol. La cubierta vegetal es de bosque de pino, oyamel, pastizal inducido, sabino, vegetación secundaria y encino; el 40% de la superficie se utiliza para agricultura de temporal y el 10% esta erosionada (Suárez *et al.*, 2008); los principales cultivos son maíz, trigo, cebada, papa y haba.

Se analizaron algunos parámetros de la calidad del agua (SDT, SST, DBO y OD), en cinco puntos de muestreo del área de estudio, ubicados uno en la barranca El Pardo (1), otro que combina la descarga de la barranca de Atotonilco y El Pardo (2), otro a la salida de la presa de Atlangatepec (3), otro que combina las descargas de las barrancas de Tlaxco y El Peñón (4), y otro antes de la entrada a la presa de Atlangatepec (5). Esta información fue registrada de Septiembre de 2006 a Agosto de 2007, a intervalos de 28 días.

Posteriormente se seleccionaron 6 escurrimientos (barrancas) representativos de la cuenca alta del río Zahuapan, que drenan directamente a dicho río. Cada barranca se recorrió en época de estiaje (Febrero de 2011) y se registraron visualmente los impactos de las actividades antropogénicas que afectan la calidad del agua del río, así como las variables Conductividad, pH, Sólidos Totales Disueltos (STD), Oxígeno Disuelto (OD) y Temperatura, de las corrientes de agua (con un equipo multiparamétrico YSI 556 MPS).

Finalmente se aplicaron 30 encuestas por barranca, a personas que habitan cerca de ellas (Febrero de 2011), para identificar la percepción de la problemática ambiental asociada al deterioro del río Zahuapan.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de la calidad del agua del río Zahuapan en los cinco puntos de muestreo se observó que las variables SDT, SST y DBO, mostraron sus valores más bajos en los puntos de muestreo El Pardo y salida de la presa de Atlangatepec, pero a medida que el río transita por las comunidades de la región sus valores se incrementaron y alcanzaron sus registros más altos con las descargas de las barrancas en el punto antes de la presa de Atlangatepec. El OD mostró un comportamiento inverso, sus valores más altos los registró en El Pardo y a la salida de la presa de Atlangatepec, pero las descargas de las comunidades de la región disminuyeron sus valores hasta alcanzar sus registros más bajos con la descarga de las barrancas en el punto antes de la presa de Atlangatepec. Al comparar los muestreos de acuerdo a la temporada del año (lluvias y estiaje), no existieron diferencias estadísticas en las variables SDT, DBO y OD, pero si en los SST (Prueba U de Mann-Whitney,  $p=0.00$ ).

Los bajos valores observados en los puntos de muestreo El Pardo y salida de la presa, en las variables SDT, SST y DBO, se deben a que el punto El Pardo está ubicado en el nacimiento del río Zahuapan y en esa región no tiene ninguna descarga de aguas residuales (se puede utilizar como valores de referencia); el punto Atlangatepec está ubicado a la salida de la presa del mismo nombre, la cual funciona como una enorme laguna de tratamiento de agua (Suárez *et al.*, 2011). En la trayectoria del río por las comunidades de la región, recibe descargas de aguas residuales domésticas, lo cual ocasiona incrementos en los valores de estas variables. Las diferencias estadísticas observadas en la variable SST para las dos épocas del año, suponen que la erosión hídrica contribuye a la contaminación del río. Estos comportamientos indican que las descargas de aguas residuales son el principal contribuyente de la contaminación del río en esta área y que la erosión hídrica también contribuye a la misma.

Del análisis de los 6 escurrimientos de la cuenca alta del río Zahuapan: Barrancas Atotonilco, El Pardo, Tlaxco, El Peñón, Atlangatepec y San Pedro, se observó lo siguiente:

#### **Barranca Atotonilco**

Esta barranca tiene una longitud de 6 943 m y va de oriente a poniente (Figura 2). En los primeros 300 metros, tomando como referencia la cabecera de la cuenca, se encuentra ubicada la comunidad de Atotonilco, en esta área es común observar la presencia de residuos sólidos a cielo abierto. A lo largo de la barranca se observa principalmente el problema de erosión hídrica, ocasionado por la deforestación y el mal manejo de las áreas de cultivo. Otro problema es la descarga de aguas residuales, que se refleja en los valores de la Conductividad, SDT y OD del agua de la barranca, los cuales oscilaron de 0.023 a 0.763  $\square s m^{-1}$ , de 14 a 496 ppm y de 0.92 a 3.4 ppm, respectivamente. La temperatura del agua de la barranca fluctuó entre los 13 y 22 °C con valor promedio de 17.5 °C, la variabilidad de este parámetro está asociada a presencia de vegetación riparia (a mayor cubierta vegetal menor temperatura del agua) y al horario de muestreo (la temperatura del agua fue incrementando con el horario). El pH osciló entre 7.3 y 8.1 unidades. El caudal del agua en la barranca osciló de 0.17 a 10.32  $l s^{-1}$ .

#### **Barranca El Pardo**

La longitud de esta barranca es de 6 511.52 m y va de noreste a suroeste. El agua que escurre en esta barranca es la de mejor calidad de toda la cuenca. Con valores de Conductividad, SDT y OD, de 0.112 a 0.121  $\square s m^{-1}$ , de 73 a 79 ppm y de 3.0 a 3.3 ppm, respectivamente. La temperatura fluctuó de 11.1 a 16.42 °C, su variabilidad estuvo asociada a los horarios de registro (la temperatura del agua fue incrementando con el horario). El pH se mantuvo entre 8 y 8.1 unidades. Esta área presenta problemas de erosión hídrica causada por la deforestación y aunque no existen asentamientos humanos a su alrededor, existen tiraderos a cielo abierto en los primeros 2 Km y entre los 4 y 6.5 Km de su recorrido. El caudal del agua fue de 12.5 a 86.7  $l s^{-1}$ .

### **Barranca Tlaxco**

Esta barranca tiene una longitud de 7 368 m y va de norte a sur. Los principales problemas que presenta esta área son la erosión hídrica originada por la deforestación, los residuos sólidos depositados a cielo abierto y la descarga de aguas residuales. Los residuos sólidos se observaron en la cabecera de la cuenca, en los primeros 1.4 Km y entre los 4.5 y 7.4 Km de la longitud de la barranca. La Conductividad, SDT y OD oscilaron de 0.139 a 320  $\mu\text{s m}^{-1}$ , de 130 a 860 ppm y de 1.9 a 4.98 ppm, correspondientemente. La temperatura del agua de la barranca fluctuó entre los 11 y 16.7 °C con valor promedio de 13.6 °C, la variabilidad de este parámetro está asociada a presencia de vegetación riparia y al horario de muestreo. El pH osciló entre los 7.9 y 8.4 unidades. El caudal del agua en la barranca fue de 1.84 a 75.95 l s<sup>-1</sup>.

### **Barranca El Peñón**

La longitud de esta barranca es de 7 490 m y va de Noroeste a Sureste. Los principales problemas de esta área son la erosión hídrica ocasionada por la deforestación, así como las descargas de aguas residuales, principalmente en el primer y tercer tramo. La Conductividad, SDT y OD oscilaron de 0.139 a 0.763  $\mu\text{s m}^{-1}$ , de 86 a 496 ppm y de 1.6 a 3 ppm, respectivamente. La temperatura varió de 11.2 a 18.7 °C, influenciada por la vegetación riparia. El pH fluctuó de 7.6 a 8.2 unidades. El caudal del agua en la barranca fue de 0.29 a 105.9 l s<sup>-1</sup>.

### **Barranca Atlangatepec**

Esta barranca va de Este a Oeste y tiene una longitud de 5 941 m. Inicia al norte de un relleno sanitario (Tetla) y cruza la carretera federal Apizaco-Tlaxco. Los residuos sólidos observados en su primer tramo corresponden a los vertidos por la gente que transita por la carretera. Los principales problemas son la erosión hídrica ocasionada por la deforestación. Existe descarga de aguas residuales en el tramo dos. El agua de la barranca manifestó una Conductividad, SDT y OD de 0.118 a 247  $\mu\text{s m}^{-1}$ , de 77 a 130 ppm y de 1.9 a 3.02 ppm, respectivamente. El pH fluctuó de 7.02 a 7.88 unidades. La temperatura se mantuvo de 17 a 18 °C. El caudal del agua en la barranca fue de 10.5 a 99.3 l s<sup>-1</sup>.

### **Barranca San Pedro**

Esta barranca tiene una longitud de 8 050 m y va de Este a Oeste. Los principales problemas en esta área son la erosión hídrica causada por la deforestación. La Conductividad, SDT y OD fluctuaron de 0.139 a 0.225  $\mu\text{s m}^{-1}$ , de 86 a 143 ppm y de 2.3 a 4.5 ppm, respectivamente. La temperatura osciló de 11.2 a 18.9, asociada a la presencia de vegetación riparia. El pH se mantuvo de 8.1 a 8.5 unidades.

La problemática ambiental que se observó en la región fue principalmente la erosión causada por la deforestación y el mal manejo de las actividades agrícolas, este comportamiento ya se ha observado en otras cuencas (Xiaoying y Ji 2010; Sevilla *et al.*, 2008) debido al modelo de explotación de los recursos naturales. En cuatro de las 6 barrancas se observaron residuos sólidos, los cuales están asociados a los asentamientos humanos y/o sitios de tránsito vehicular, comportamiento ya observados en otras cuencas (Rajkumar y Xu, 2011). La descarga de aguas residuales sin tratamiento previo afectan la calidad del agua, ya que provocan valores bajos de OD y aumento en los valores de conductividad y SDT (Paredes *et al.*, 2009), como se observó en las barrancas de Tlaxco, El Peñón y Atotonilco; los valores altos de OD y bajos de conductividad y SDT, se observaron en lugares donde no existieron descargas de aguas residuales (Barranca El Pardo y San Pedro), cabe resaltar que en

las otras barrancas también se registraron los mismos comportamientos asociados a tramos largos de recorrido del agua sin presencia de descargas de aguas residuales, esto resalta la importancia de reconocer que las barrancas tienen una capacidad de recuperación de la calidad del agua, misma que se puede ocupar para garantizar la calidad del agua del río principal. En cinco de las seis barrancas toda el agua que escurre es de origen doméstico (residual), solamente en la Barranca de El Pardo el agua es de origen subterráneo (manantiales). Ante una medida de tratamiento de las aguas residuales de las comunidades de la zona, obligaría a darle otro uso a esta agua (para hacer rentable esta medida), entonces se observaría lo que algunos pobladores comentan sobre la disminución del caudal del río principal, medida que también afectaría al río aunque de otra manera.

### **Percepción de la problemática ambiental asociada al deterioro del Río Zahuapan**

De las 540 encuestas realizadas a los habitantes de las comunidades aledañas a las diferentes barrancas, se observó que:

En promedio XX% de los encuestados nacieron en su comunidad, fluctuando del 90% en El Peñón, San Pedro, Tecopilco, San Simon, Dos Arroyos, Rio de los negros y Santa Isabel a 63% en Tlaxco. De acuerdo a sus respuestas los cambios más perceptibles en la comunidad son la presencia de pavimento, con el porcentaje más alto en San Benito, Dos Arroyos, rio de los Negros y San Juan como (40%) y el más bajos en Atotonilco (17%); el desmonte, con los porcentajes más altos en Guadalupe (30%) y los más bajos en el Peñon (7% ); mejora de los servicios como la construcción de casas, con el porcentaje más alto en San Benito y Zacatelco (30%), y los más bajos en Atotonilco y El Peñón (7%); y crecimiento poblacional, fluctuando del 20% en SantaIsabel a 3% en El Peñón y San Pedro y el resto mencionó otros cambios no asociados directamente a la contaminación del río (ej. alcoholismo).

los encuestados mencionaron que en su comunidad se ha realizado reforestación, los porcentajes más bajos corresponde a San Jorge y Apizaco (60%) y los más altos a Tlaxco (97%).

Los encuestados consideran que ha disminuido la cantidad de agua en el río Zahuapan, con porcentajes más altos San Pedro y El Peñon (93%) y más bajos Apizaco (50%). También creen que está contaminado, fluctuando de 60% en Tecopilco, y Rio de los Negros a 100% Atotonilco, El Pardo, El Peñón y San Pedro . De los que creen que el río está contaminado, consideran que es por la suciedad (aguas residuales y residuos sólidos), por la tala de bosques, por la falta de lluvia, porque todo escurre al río (aguas residuales, residuos sólidos, fertilizantes y plaguicidas), por el aumento de la población.

Con relación a propuestas para enfrentar la problemática del agua, los encuestados consideran que hace falta construir obras de retención de agua (jagüeyes), los porcentajes más altos se dan Tecopilco y San Benito (50%) y los más bajos en Tlaxco, El Peñón, San Pedro (26%); también menciona la necesidad de cuidar los árboles, fluctuando de 10% en El Peñón, Tlaxco, Guadalupe, Tecopilco, San Simon, San Benito, Dos Arroyos, Aguanaja San Juan a 30% en Rio de los Negros; y mantener los recursos naturales, con porcentajes de 3 % en Tlaxcoa20% en Aguanaja y San Juan .

Con relación a los sistemas riparios, consideran que no hay animales en el agua del río el valores mas bajos se presentaron en el Peñon y San Pedro con el 20% y los mas altos en San Simon, San Benito, Rio de los Negros, que hay peces presenta el valor mas bajo con el 10% San Simon, San Benito, rio de los negros, Aguanaja, Santa Isabel y Zacatelco y el valor mas alto se presento en Tecopilco 40%, que hay serpientes los valores fluctúan entre el 10% en Guadalupe, Tecopilco, Apizaco, San Benito, San Juan, San Jorge y Zacatelco y el 26% en el Pardo. Los encuestadoscreen que no hay plantas en el agua presentando los valores mas bajos en el Pardo, Peñon y San Pedro con el 30% y el valor mas alto con el 80% San Simon, San Benito y rio de los negros con 80% y

que si hay plantas el valor mas bajo se encuentra en San Simon, San Benito y rio de los negros 10%, y el valor mas alto lo presentan Apizaco y dos arroyos con 50%.

#### **4 CONCLUSIONES**

Las descargas de aguas residuales son el principal contribuyente de la contaminación del río Zahuapan en la región norte de la cuenca, la erosión hídrica y los residuos sólidos le siguen en importancia.

La presencia de pavimento, la deforestación, el crecimiento poblacional (por consecuencia de construcción de casas) son los principales cambios que la gente percibe y que están asociados al deterioro de la calidad ambiental de la región. Aunque la mayoría (90%) conocen la implementación de programas de reforestación, la deforestación es mayor.

El 84% de los encuestados perciben una disminución de la cantidad del agua del río. Y solamente el 9% conceptúan que el río está contaminado. De ese 9% el 21% consideran que es por suciedad (aguas residuales y residuos sólidos), 17% por deforestación, 13% por falta de lluvia, 11% porque todo escurre al río (aguas residuales, residuos sólidos, fertilizantes y plaguicidas) y 9% por el crecimiento de la población.

Para enfrentar esta problemática del río Zahuapan, los pobladores consideran que la construcción de reservorios, el cuidado de los árboles y la preservación de los recursos naturales en general, son opciones viables.

Del 61 al 75% de los encuestados no saben o considera que no existen organismos en el río.

Por anterior queda evidenciado que existe un alto grado de deterioro en la región norte de la cuenca del río Zahuapan y como consecuencia igual un alto grado de deterioro del río. La creciente modificación del ambiente por el crecimiento poblacional que experimenta la región, la falta de conocimiento sobre la existencia e importancia de los sistemas riparios, aunado a la poca percepción del deterioro del río. Nos permiten sugerir que un plan de restauración del río para esta región deberá incluir al menos el manejo adecuado de los residuos sólidos, las aguas residuales, reforestación del área y manejo sustentable de los recursos naturales, apoyado por un fuerte componente de educación ambiental.

#### **5 REFERENCIAS**

ALVAREZ O & G POVEDA (2006) Disponibilidad potencial de recursos hídricos en Colombia según el criterio de la entropía informacional. Avances en recursos hídricos 13:1-12.

BATLLORI E, GONZÁLEZ J, DÍAZ J & FEBLES J (2006) Caracterización hidrológica de la región costera noroccidental del estado de Yucatán, México. Investigaciones geográficas, boletín del instituto de geografía 59: 74-92.

CARREÓN MF (2008) Evaluación y Planeación del recurso agua en la subcuenca del rio Zahuapan. Tlaxcala. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. UAT pp.64

HOEKSTRA A & AK CHAPAGAIN (2007) Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resour Manage 21:35-48

MUÑOZ H, J SUÁREZ, A VERA, S OROZCO, J BATLLE, A ORTIZ & J MENDIOLA. (2012). Demanda bioquímica de oxígeno y población de la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. Rev. Int. Contam. Ambie. 28(1):27-34.

- MUÑOZ ML (2007) Simulación de la disponibilidad de agua y contaminación por materia orgánica en la subcuenca del río Zahuapan. Tlaxcala. Tesis de licenciatura en biología. UAT pp.51
- PARROTT L & K ROBERT (2000) Incorporating Complexity in Ecosystem Modelling. *Complexity international* 7: 1-19.
- PAREDES J, J ANDREU & A SOLERA (2010) A decision support system for water quality issues in the Manzanares River (Madrid, Spain). *Science of the Total Environment* 408: 2576–2589.
- PESCEM S & DA WUNDERLIN (2000) use of water quality indices to verify the impact of cordoba city (Argentina) on suquia river. *Elsevier Science* 34: 2915-2926.
- RAJKUMAR Y & X YONGXIN (2011) Protection of Borehole Water Quality in Sub-Saharan Africa using Minimum Safe Distances and Zonal Protection. *Water Resour Manage* 25: 3413–3425.
- SEVILLA V, COMERMA J & SILVA O (2009) Caracterización de la cuenca del río canoabo en el estado Carabobo, Venezuela. i. análisis climático y de producción de agua. *Agronomía* 59: 33-44.
- SOLARTE Y, M TREJOS & H MATERÓN. (2009) Caracterización del recurso hídrico de la subcuenca aguacalera río bolo para fines de abasto de agua. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 8: 1-11.
- SOSA F (2012) Assessing Water Quality in the Developing World: An Index for Mexico City. *Water Quality Monitoring and Assessment* 22: 495-508.
- SOTO O, CARRILLO J & SUÁREZ J (2011). Concentraciones de metales y metaloides en sedimentos del río Zahuapan. En: Jiménez R & M Hernández (eds) Zahuapan: Río-región-contaminación. Editorial El Colegio Tlaxcala, México. 57-78pp.
- SUÁREZ J, H MUÑOZ, S OROZCO, G SÁNCHEZ, W RITTER, M CARREÓN, M MUÑOZ. & J TREVIÑO. (2008) Impacto del cambio climático global en la disponibilidad de agua en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México”. *Avances en Recursos Hidráulicos* 17: 25-31.
- SUÁREZ J, H MUÑOZ, S OROZCO, G SÁNCHEZ, W RITTER, M CARREÓN, M MUÑOZ. & J TREVIÑO. (2009). Disponibilidad de agua y el cambio climático global en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Gestión Ambiental* 18: 49-61.
- SUÁREZ J, M F. CARREÓN, S CHAMIZO & S OROZCO (2011). Análisis de la contaminación: Disponibilidad y contaminación de agua en la cuenca del río Zahuapan. En: Jiménez R & M Hernández (eds) Zahuapan: Río-región-contaminación. Editorial El Colegio Tlaxcala, México. 33-55pp
- TIWARI P & B JOSHI (2012) Environmental Changes and Sustainable Development of Water Resources in the Himalayan Headwaters of India. *Water Resour Manage* 26: 883–907.
- VALENCIA P, WALISZEWSKI S, GÓMEZ J, SUÁREZ J & SÁNCHEZ J (2011). Detección de mezclas complejas de sustancias con efectos genotóxicos en el sistema hidrológico Atoyac-Zahuapan (SH-AZ), Tlaxcala. En: Jiménez R & M Hernández (eds) Zahuapan: Río-región-contaminación. Editorial El Colegio Tlaxcala, México. 23-31pp.
- XIAOYING Y & J WEI (2010) GIS-based spatial regression and prediction of water quality in river networks: A case study in Iowa. *Journal of Environmental Management* 91:1943-1951.





# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS HIDROLÓGICOS APLICADOS EN LA NORMA DE CAUDAL ECOLÓGICO

María Antonieta GÓMEZ BALANDRA<sup>a</sup>, Sergio RODRÍGUEZ TORRES<sup>b</sup> y Pilar SALDAÑA FABELA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Mor.

email: [magomez@tlaloc.imta.mx](mailto:magomez@tlaloc.imta.mx),

<sup>b</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Campus Morelos.

## RESUMEN

Actualmente se reconoce la importancia de mantener el régimen de caudales en los ríos lo más cercano a su variación natural, principalmente cuando no han sido alterados por extracciones agrícolas o modificaciones para la generación de energía. Esto ayudará a mantener los procesos naturales y servicios ambientales que ofrecen local y regionalmente. Los métodos hidrológicos representan la base para estimar los caudales ecológicos bajo esquemas de competencia o presión de uso. Con ellos se obtienen valores de referencia como porcentajes del caudal medio anual y umbrales de comportamiento, sean mensuales o estacionales para considerarse en el momento de la planeación de algún aprovechamiento.

La recientemente publicada Norma Mexicana NMX-AA-159-SCF-2012, es una herramienta técnica para calcular el caudal ecológico, inicialmente mediante distintos métodos hidrológicos luego incorporando métodos hidráulicos, de preferencia de hábitat y holísticos, según se requieran en cada corriente, conforme con el objetivo ambiental de la cuenca o tramo; definido por su importancia ecológica y presión de uso, así como por el tipo de aprovechamiento y nivel de estudio que se realice.

En este trabajo se comparan los resultados conforme al objetivo ambiental de las estaciones hidrométricas de la Cuenca del Río Verde en Oaxaca, como porcentajes del escurrimiento medio anual (EMA) al aplicar los criterios de Tennant modificado por García, et al., 1999 y los propuestos por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés), ambos en la NMX y se analizan sus diferencias. El análisis se llevó a cabo en forma específica para la estación hidrométrica Paso de la Reina, ubicada al final de la cuenca, se comparan los resultados de métodos que definen porcentajes de los caudales medio anual, mensuales y del caudal base (Tennant modificado); así como del método del WWF que determina una reserva anual como porcentaje del EMA bajo un régimen que integra un volumen ordinario y otro de avenidas.

Finalmente, los resultados de esta estación hidrométrica se comparan con recomendaciones internacionales que resultan del método hidrológico IHA-RNV propuesto por TNC para definir el tratamiento que da cada método de la NMX a la corriente, conforme con su variabilidad histórica y la frecuencia de años secos, promedio o húmedos.

## 1 INTRODUCCIÓN

El régimen natural de variabilidad de un río representa la cantidad y duración de los flujos de agua necesarios para mantener las especies y asegurar, tanto las funciones y capacidad de recuperación de los ecosistemas de agua dulce, como los medios de subsistencia de las comunidades humanas que dependen de ecosistemas saludables (Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, 2003) (Declaración de Brisbane, 2007) (Poff et al., 2010) (TNC, 2013). Así el régimen de caudal en los ríos es lo que mantiene los servicios ambientales y los beneficios a las personas

Esto implica que además de proveer agua para los usos doméstico, público urbano, pecuario y agrícola, los escurrimientos en la cuenca, como las descargas de los acuíferos conservan los ecosistemas lóticos (ríos perenes, intermitentes y efímeros), lénticos (lagos, lagunas, y humedales) y riparios para conservar la biodiversidad y los servicios ambientales. (Annear *et al.*, 2004)

Para determinar el caudal ecológico o ambiental a nivel regional, se pueden llevar a cabo estudios a nivel de subcuenca o micro cuenca para determinar los requerimientos básicos asociados a respuestas ecológica, en casos en los que no se pueden realizar estudios detallados para todos los ríos de una región. De esta forma que se puede hacer uso de conocimientos sobre las relaciones entre caudal y ecología, que se han adquirido a través de décadas de estudios en ríos específicos y aplicar dichos conocimientos a una cuenca hidrológica. (ELOHA, 2010), (Vezza, Parasiewicz, Rosso, & Comoglio, 2011).

Los métodos hidrológicos, emplean índices de caudales únicos o múltiples (basados en la variabilidad anual o temporal) derivados de registros históricos para fijar objetivos de caudal que ayudan a mantener la integridad biológica y los servicios ecosistémicos. Estos métodos son utilizados en un 30% del total global y aplicado en todas las regiones del mundo y son apropiados para propósitos de planeación de los recursos hídricos a nivel de sitio o región, además de ser simples, rápidos y económicos. Cuando existe escasez de datos de campo, pueden funcionar y tienen un potencial de regionalización.

Después de varios esfuerzos para llegar al desarrollo de una Norma para determinar el caudal ecológico, que ayude a la conservación de los ríos y aplique los métodos adecuados a cada situación para un mejor aprovechamiento en una cuenca, se ha publicado la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012. Que en su carácter de voluntaria, no deja de funcionar como una herramienta disponible y obligada, con vista a mejorar, a través de su propia aplicación por la experiencia de los distintos usuarios que realicen estudios de asignaciones de agua en las cuencas, planeación de infraestructura hidráulica o hidroeléctrica; actualización o modificación de los acuerdos de disponibilidad o distribución del agua, considerando el caudal ecológico para la conservación de los ecosistemas acuáticos.

## **2 MARCO DE REFERENCIA**

El caudal ecológico se define como la cantidad, calidad y variación del gasto o de los niveles de agua reservada para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales y que permiten a las sociedades obtener beneficios.

La gestión de los caudales ambientales se reconoce que debe ocurrir en las etapas más tempranas de la planeación de una cuenca cuando aún existe una disponibilidad que puede ser asignada al ambiente. De otra forma se llega a situaciones donde es necesario establecer fondos, bancos o reservas de agua para recuperarla para el equilibrio y funciones ambientales (CONAGUA, 2011a) (Calvache, Benítez, & Ramos, 2012). En esta gestión es importante no únicamente asignar un volumen anual (NOM-011-CNA-2000) que puede ser proporcionado solo en la época de lluvias cuando existan excedentes sino respetando su variabilidad estacional e interanual. La aplicabilidad de la norma de caudal ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012) resulta importante en este nivel de planeación así como cuando se requiera acotar las alteraciones que puedan causar grandes extracciones, obras hidráulicas o derivaciones en las cuencas. Es importante entender que las especificaciones

establecidas en la Norma, se deberán aplicar en los estudios para determinar el régimen de caudal ecológico en corrientes o cuerpos de agua nacionales a nivel de cuenca hidrológica.

Las metodologías descritas en la NMX se consideran como el requerimiento técnico mínimo y no excluyen la aplicación de metodologías complementarias o alternas más precisas, cuando la información o los recursos disponibles así lo permitan, en cuyo caso la Comisión Nacional del Agua determinará cuáles son los resultados que prevalecen atendiendo al nivel de detalle de los estudios realizados y considerando los intereses de los usuarios, así como por la problemática de las asignaciones o sobreasignaciones en la cuenca o región.

## LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO VERDE

La República Mexicana está dividida en 37 regiones hidrológicas (fig. 1), La cuenca del Río verde se encuentra localizada dentro de la Región Hidrológica No. 20 (RH20) “Costa Chica” y se reconoce como uno de los ríos más importante dentro de la región. La RH20, tiene una superficie total de aportación de 40,016.06 km<sup>2</sup>, en donde se localizan diversas corrientes y ríos que desembocan directamente en el Océano Pacífico.



Figura 1. Localización de la cuenca de estudio

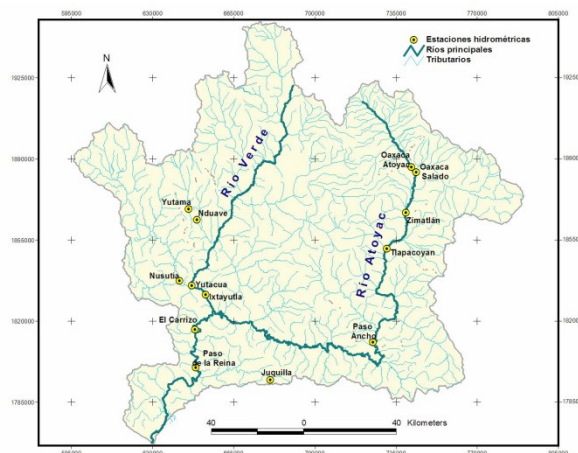


Figura 2. Estaciones hidrométricas en la cuenca.

Mientras que la cuenca del Río Verde cuenta con una superficie de aproximadamente 18,365 km<sup>2</sup> y un volumen medio anual de escurrimiento de 5,784 Mm<sup>3</sup>. (CONAGUA, 2011b) (fig. 1). La cuenca Cuenta con 13 estaciones hidrométricas: 6 administradas por la Conagua y 7 por la CFE, ver fig. 2 y tabla 1.

**Tabla 1.** Relación de estaciones hidrométricas en la cuenca del Río Verde, Oaxaca.

Nombre	Corriente	Cuenca	Operador	Longitud	Latitud	Periodos de Registro
Oaxaca Atoyac	Río Atoyac	Río Verde	CONAGUA	-96° 43' 45"	17° 02' 45"	Oct. 1972-Ago. 1991
Oaxaca Salado	Río Salado	Río Atoyac	CONAGUA	-96° 42' 35"	17° 01' 40"	Oct. 1972-Ago. 1991
Zimatlán	Río Atoyac	Río Verde	CONAGUA	-96° 45' 10"	16° 52' 15"	Oct. 1972- Sep. 2001
Tlapacoyán	Río Atoyac	Río Atoyac	CONAGUA	-96° 50' 00"	16° 43' 50"	Oct. 1972- Sep. 2002
Paso ancho	Río Atoyac	Río Atoyac	CFE	-96° 53' 27"	16° 22' 00"	Ene. 1957-Dic. 2006
Yutama	Río Yutama	Río Yolotepec	CFE	-97° 38' 00"	16° 53' 30"	Abr. 1960-Mar. 1969
Nduave	Río la esmera	Río Yolotepec	CFE	-97° 36' 00"	16° 02' 55"	Ene. 1954-Mar. 1969
Yutacua	Río verde	Río Verde	CFE	-97° 37' 30"	16° 36' 21"	May. 1969-Dic. 2005
Nusutia	Río Putla	Río Yolotepec	CFE	-97° 40' 05"	16° 36' 03"	Jun. 1969-Dic. 2005
Ixtayutla	Río Yolotepec	Río Verde	CONAGUA	-97° 34' 00"	16° 33' 30"	Feb. 1961-Dic 1991
El Carrizo	Río verde	Río verde	CFE	-97° 36' 55"	16° 25' 28"	Ago. 1969-Dic. 2006
Paso de la reina	Río Atoyac	Río Verde	CONAGUA	-97°36' 30"	16°.27'50"	Ago. 1960-Dic. 2005
Juquila	Río Juquila	Río Atoyac	CFE	-97° 18' 30"	16° 13' 30"	Ago. 1961-Abr. 1962

### 3 METODOLOGÍA

Criterios y metodologías para el cálculo de régimen de caudal ecológico.

#### CRITERIOS

Determinación de objetivos ambientales (OA) para cuencas y/o regiones hidrológicas: Se establecen a partir de la importancia ecológica (presencia de áreas naturales protegidas (ANP), sitios prioritarios para la conservación y nivel de alteración eco-hidrológica) y la presión de uso (% de volumen asignado o concesionado) de acuerdo con los criterios establecidos en la tabla 2. El objetivo ambiental resultante determinará el porcentaje del volumen a asignar global y como régimen.

**Tabla 2.** Criterios para Determinar los objetivos ambientales, NMX-AA-159-SCFI-2012.

Importancia Ecológica	Muy alta	A	A	B	C
	Alta	A	B	C	D
	Media	B	C	C	D
	Baja	B	C	D	D
	Presión de uso	Baja	Media	Alta	Muy alta

#### METODOLOGÍAS

##### Volúmenes de referencia

La NMX señala dos aproximaciones, la de Tennant modificado por García, et al., 1999 y la del WWF, ambas se obtuvieron para todas las estaciones en la cuenca. Estos se asignan de forma mensual y anual, respectivamente.

**Tabla 3.** Porcentajes de asignación del Escurrimiento Medio Anual (EMA) y Caudal medio mensual (Qmi) para diferentes objetivos ambientales y periodos. Método de Tennant modificado por García, et al., 1999

Objetivo ambiental	Periodo			
	Estiaje		Avenida	
	% EMA	% Qmi	% EMA	% Qmi
A	30	100	60	50
B	20	80	40	40
C	15	60	30	30
D	5	40	10	20

**Tabla 4.** Valores de referencia para las unidades de gestión definidas por el estudio de disponibilidad (WWF).

Objetivo ambiental	Nivel de conservación	Caudal ecológico (% EMA)	
		Corrientes permanentes	Corrientes temporales
A	Muy bueno	>40	>20
B	Bueno	25-40	15-20
C	Moderado	15-25	10-15
D	Deficiente	5-15	5-10

### **Análisis detallado de la estación Paso de la Reina**

Ambos métodos se pueden utilizar para determinar el régimen de caudales, dependiendo del nivel de detalle del estudio.

### **Tennant Modificado por García, et al., 1999**

1. Arreglo de la serie de datos.
2. Determinación del régimen de caudal ecológico anualizado y mensual.
3. Ajuste del régimen de caudal ecológico mensual y estacional.

### **Método del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF)**

1. Identificar la serie hidrológica histórica del régimen natural y organizarla por meses.

- Obtener el volumen total de caudal ordinario estacional considerando los percentiles 0, 10, 25 y 75 ponderados por la frecuencia diferentes tipos de años hidrológicos (Tabla 5) dependiendo del objetivo ambiental.

**Tabla 5.** Criterios para la integración de los caudales ordinarios estacionales para distintos objetivos ambientales

Objetivo ambiental	Frecuencias de ocurrencia			
	Húmedo	Medio	Seco	Muy seco
A	0.1	0.4	0.3	0.2
B	0.0	0.2	0.4	0.4
C	0.0	0.0	0.4	0.6
D	0.0	0.0	0.0	1.0

$$Vt_{Coe} = (f_{CoeH} \times V_{CoeH}) + (f_{CoeM} \times V_{CoeM}) + (f_{CoeS} \times V_{CoeS}) + (f_{CoeMS} \times V_{CoeMS}) \quad (1)$$

$Vt_{Coe}$  = Volumen total del caudal ordinario estacional

$f_{Coe}$  = Frecuencia de ocurrencia de un régimen “i”, siendo “i” las condiciones húmedas (H), medias (M), secas (S) y muy secas (MS).

$V_{Coe}$  = Volumen del régimen de caudales ordinarios estacionales de “i”

- Obtener el volumen del régimen de avenidas, calculado a partir de los valores máximos o picos anuales a partir de la siguiente ecuación:

$$Vt_{Ra} = (f_{aI} \times d_{aI} \times V_{aI}) + (f_{aII} \times d_{aII} \times V_{aII}) + (f_{aIII} \times d_{aIII} \times V_{aIII}) \quad (2)$$

$Vt_{Ra}$  = Volumen total del régimen de avenidas

$f_a$  = frecuencia de ocurrencia de una avenida “i”, siendo “i” las avenidas tipo I, II y III.

$d_a$  = duración de una avenida “i”

$V_a$  = Volumen de una avenida “i”

- Por último calcular el volumen anual de reserva ambiental:

$$Vfr = Vt_{Coe} + Vt_{Ra} \quad (3)$$

$Vt_{coe}$  = Volumen total del caudal ordinario estacional

$Vt_{Ra}$  = Volumen total del régimen de avenidas

$Vfr$  = Volumen Final de reserva que se expresa en % del EMA.

- Obtener los parámetros hidrológicos de los grupos 1 y 2 del método IHA-RVN para comparación.

## 4 RESULTADOS

Se obtuvieron los siguientes valores de referencia con los métodos sugeridos por la NMX para tener en cuenta en ejercicios de planeación del aprovechamiento en la cuenca (Tabla 3).

### COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE REFERENCIA SEGÚN TENNANT MODIFICADO POR GARCÍA Y WWF PARA LA CUENCA.

Para todas las estaciones en la cuenca (exceptuando la estación Juquila, que solo cuenta con un año de registro), se calcularon los porcentajes recomendados por Tennnat modificado por García, et al., 1999 y los porcentajes del WWF, los volúmenes y valores de referencia, se muestran a continuación. (Tabla 6)

**Tabla 6.** Valores de Referencia para Caudal Medio Anual y Volúmenes de Esguerrimiento Medio Anual.

Sitio/Estación	CMA (m <sup>3</sup> /s)	EMA (Mm <sup>3</sup> /año)	Obj. Amb.	Tennnat modif. por García, et al., 1999				WWF	
				Estiaje		Avenidas		%EMA (Mm <sup>3</sup> /año)	
				%CMA (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>mi</sub> (%)*	%CMA (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>mi</sub> (%)*	<b>Corrientes Temporales</b>	
Oaxaca Salado	0.89	60.7	B	0.18	80	0.36	40	9.1	11.5
Oaxaca Atoyac	1.30	145.6	B	0.26	80	0.52	40	21.8	27.7
Zimatlán	4.45	175.8	B	0.89	80	1.78	40	26.4	33.4
Tlapacoyán	5.37	185.9	B	1.07	80	2.15	40	27.9	35.3
								<b>Corrientes Perennes</b>	
Paso ancho	11.88	497.6	B	2.38	80	4.75	40	124.4	146.1
El Carrizo	132.74	4,775.0	B	26.55	80	53.10	40	1,193.7	1,632.6
Yutama	1.02	49.0	A	0.31	100	0.61	50	>=	19.6
Nduave	1.81	64.5	A	0.54	100	1.09	50	>=	25.8
Yutacua	25.95	989.5	A	7.79	100	15.57	50	>=	395.8
Nusutía	62.69	2,214.9	A	18.81	100	37.61	50	>=	886.0
Ixtayutla	92.39	3,342.5	A	27.72	100	55.43	50	>=	1,337.0
Paso de la Reina	161.50	5,232.5	A	48.45	100	96.90	50	>=	2,093.0
Tennant Modificado. Estiaje: %CMA A:30 B:20 - %Q <sub>mi</sub> A:100 B:80   Avenidas: %CMA A:60 B:40 - %Q <sub>mi</sub> A:50 B:40 (*Para cada mes)									
WWF. Corrientes Perennes: %EMA A: >= 40 B:25-39   Corrientes Temporales: %EMA A:>=20 B:15-19									

#### Análisis detallado para la E.H. Paso de la Reina

En los siguientes anexos se utilizó una sola EH por la complejidad los análisis detallados y para lograr la comparación de los resultados con el método IHA-RVN.

Para formular la propuesta de régimen de caudal ecológico mensual y anual y calcular los volúmenes anuales de reserva con finalidad ambiental, se seleccionó la estación Paso de la Reina ya que es la estación al final de la cuenca a 60 kilómetros de la desembocadura. En este punto el Objetivo Ambiental es "A", por la importancia ecológica "Alta" y presión de uso "Baja".



**Figura 4.** Determinación de objetivos ambientales para selección del sitio de estudio.

#### Tennant modificado García *et al.*, 1999

Se seleccionó la serie de datos de 45 años de registro de la estación Paso de la Reina que se calificó con un objetivo ambiental “A”. El Caudal o escurrimiento medio anuales es de 161.5 (m<sup>3</sup>/s) y el Caudal Base de 11.8 (m<sup>3</sup>/s) obtenido como el valor mínimo mensual registrado de la serie.

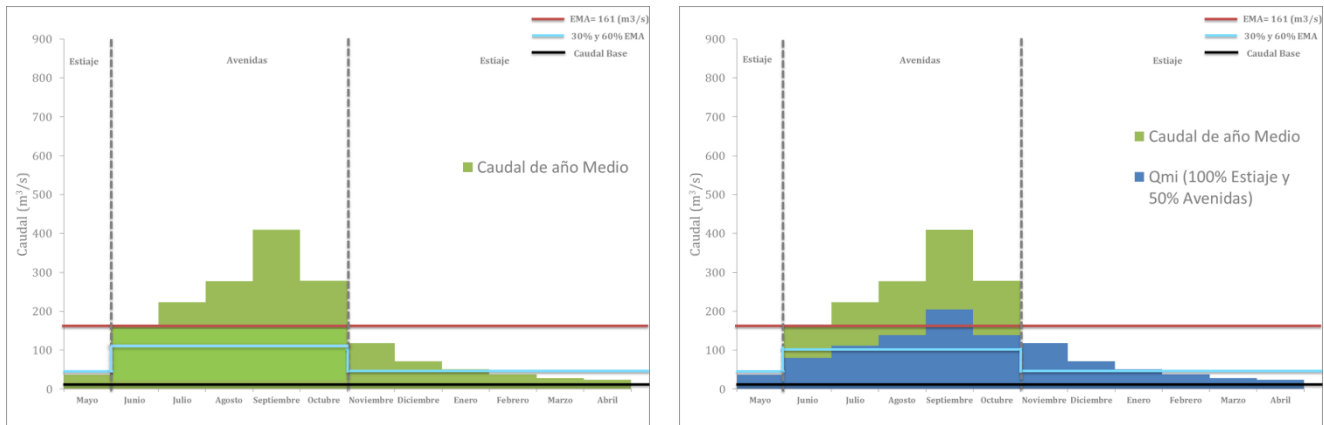
Los resultados en las tablas y en los gráficos, se presentan a partir del mes de mayo para representan completa la época de lluvias , (TNC, 2009).

**Tabla 7.** Determinación de año seco, medio y húmedo m<sup>3</sup>/s

Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Seco	11.89	43.77	101.9	88.39	162.40	135.50	57.04	40.42	29.75	24.35	17.73	13.73
Medio	37.02	160.76	223.67	277.38	409.63	278.34	117.81	71.29	50.74	37.80	28.34	24.16
Húmedo	65.79	487.70	535.20	758.60	871.50	559.70	190.10	112.80	73.69	55.57	43.43	36.74

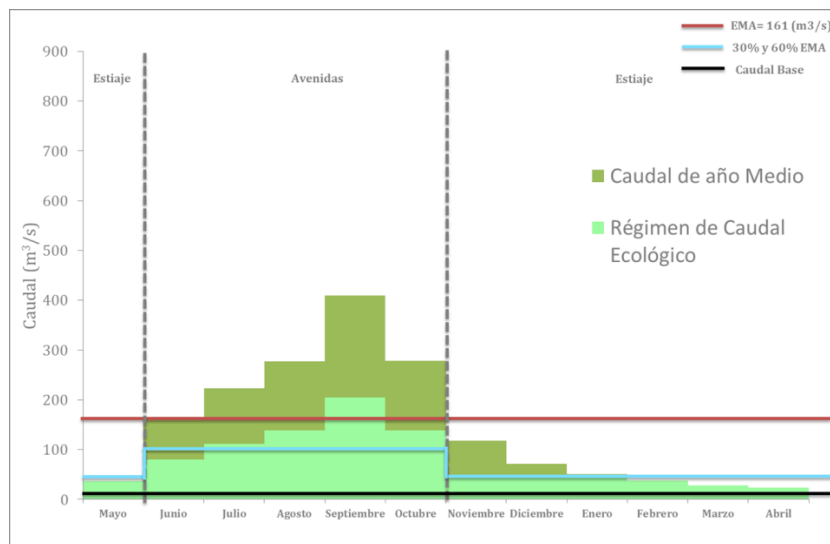
Para este caso se seleccionó el año medio, ya que es un tramo poco alterado y se busca mantener el objetivo ambiental. Se determinaron también, los meses de estiaje y de avenidas, para esto, se consideran todos aquellos valores medios mensuales que se encuentren por encima del valor del EMA como meses de avenidas y aquellos por debajo del EMA, se consideran meses de estiaje.





**Figura 5 y 6.** Determinación de caudal ecológico a partir de porcentajes de EMA y Qmi

Al final se obtiene gráficamente la propuesta de Caudal Ecológico de manera mensual en la estación Paso de la Reina



**Figura 7.** Propuesta de Caudal ecológico

Formulación de propuestas de régimen de CE mensual y anual para un año medio y un objetivo ambiental asociado, que en este caso se determinó como objetivo ambiental “A”.

**Tabla 8.** Porcentajes de Qmi, EMA y propuesta de caudal ecológico m<sup>3</sup>/s

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
% Qmi	37.02	80.3	111.83	138.69	204.81	139.17	117.81	71.29	50.74	37.80	28.34	24.16
% EMA	48.33	96.66	96.66	96.66	96.66	96.66	48.33	48.33	48.33	48.33	48.33	48.33
<b>Cecol</b>	<b>37.02</b>	<b>80.37</b>	<b>111.83</b>	<b>138.69</b>	<b>204.81</b>	<b>139.17</b>	<b>48.33</b>	<b>48.33</b>	<b>48.33</b>	<b>37.80</b>	<b>28.34</b>	<b>24.16</b>

### Método del WWF

Para calcular el volumen final de reserva, reconociendo su régimen, como lo recomienda el método del WWF y la Fundación Río-Arronte en la Norma de caudal, se consideraron los valores del volumen total de caudal

ordinario estacional y el volumen total del régimen de avenidas, calculados a partir de promedios mensuales, para posteriormente obtener el porcentaje de este volumen con relación al EMA.

### Volumen total del caudal ordinario estacional

El caudal ordinario estacional, representa los volúmenes que se mantendrán en el río para reproducir las condiciones de lluvias y estiaje que se presentan de manera sistemática, sin incluir los eventos de las avenidas, que son los valores extremos o picos que se presentan en el año.

Para calcular el volumen total del caudal ordinario estacional, se asociaron los percentiles 75, 25, 10 y 0 para cada condición hidrológica anual (año húmedo, medio, seco y muy seco, respectivamente)

**Tabla 9.** Criterios para régimen de caudales ordinarios estacionales para años con diferentes condiciones hidrológicas.

Condiciones hidrológicas	Percentil característico
Años húmedos	75
Años medios	25
Años secos	10
Años muy secos	0

Además, considerando el objetivo ambiental, se consideraron los criterios para la integración de los caudales ordinarios a partir de las frecuencias de ocurrencia de distintas condiciones hidrológicas.

Una vez obtenidos los percentiles de cada una de las condiciones del régimen, se calculan los volúmenes de manera anual y se aplica la ecuación para obtener el volumen total de caudal ordinario estacional, relacionando el volumen anual obtenido para cada condición y las frecuencias de ocurrencia, los resultados obtenidos de esta ecuación ( $V_{t_{Coe}}$ ), se muestran en la tabla.

**Tabla 10.** Volumen total de caudal ordinario estacional

Tipo de año	Muy secos	Secos	Medios	Húmedos
Percentil	P0	P10	P25	P75
Unidad	Mm <sup>3</sup> /mes	Mm <sup>3</sup> /mes	Mm <sup>3</sup> /mes	Mm <sup>3</sup> /mes
( $V_{t_{Coe}}$ hm <sup>3</sup> /año)	2052	2862	3611	6066
% Esc. medio anual	40	56	71	119
Frecuencia de ocurrencia ( $f_{Coe}$ )	0.2	0.3	0.4	0.1
<b><math>V_{t_{Coe}}</math></b>	<b>3,647.75 Mm<sup>3</sup>/año</b>			

### Volumen total del régimen de avenidas

Con este análisis se trata de identificar aquellas avenidas que activan procesos clave (ecológicos, hidrológicos y geomorfológicos) necesarios para mantener a largo plazo los ecosistemas. El régimen de avenidas en un río queda configurado por su amplio espectro a lo largo del tiempo. En el estudio de los caudales ecológicos se

considera necesario identificar al menos tres tipos de avenidas y caracterizarlas mediante sus correspondientes atributos: magnitud, duración, frecuencia, momento de ocurrencia y tasa de cambio

Se caracterizaron las avenidas obteniendo tres categorías, además, se consideró la duración de cada categoría en días seguidos con valores por encima de sus correspondientes umbrales, durante todo el periodo de registro (45 años).

- Categoría I (1 año de retorno): 303 m<sup>3</sup>/s
- Categoría II (1.5 años de retorno): 843 m<sup>3</sup>/s
- Categoría III (5 años de retorno): 1,874 m<sup>3</sup>/s

Para conocer el momento de ocurrencia, se contabilizó para cada categoría, los meses en los que se producen para determinar la tasa de cambio de los caudales diarios en los eventos de avenidas, sobre la serie de caudales diarios se aplicó la siguiente ecuación:

$$Tc = ((Q_i - Q_{i+1}) / Q_i) \times 100$$

Tc = Tasa de cambio (%); Q<sub>i</sub>: Caudal medio en un día “i”; Q<sub>i+1</sub>: Caudal medio del día siguiente. En esta serie aparecen tasas de incrementos y de decrementos, a partir de las cuales se obtienen los valores de ascenso de 75% y descenso de 40%.

Finalmente se obtuvo el volumen total del régimen de avenidas (*V<sub>tRa</sub>*), de acuerdo con la ecuación (2), los resultados de estos cálculos, se muestran en la tabla 11.

**Tabla 11.** Atributos del régimen hidrológico y volumen final de reserva

Atributo del régimen hidrológico		Categoría I	Categoría II	Categoría III
		1 año PR	1.5 años PR	5 años PR
<b>Magnitud</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	303	843	1874
	<b>Mm<sup>3</sup>/día</b>	26	73	162
<b>Frecuencia</b>		10	6	2
<b>Duración</b>		3	2	1
<b>Momento</b>		Jul-Oct		
<b>Tasa de Cambio</b>	<b>Ascenso</b>	75		
	<b>Descenso</b>	40		
<b>VtRa a 10 años</b>		1980		
<b>VtRa por año</b>		198 Mm <sup>3</sup>		

Por último, se suman volumen total de caudal ordinario estacional (*V<sub>tcoe</sub>*), con el volumen total del régimen de avenidas (*V<sub>tRa</sub>*), para así obtener el Volumen final de reserva (*V<sub>fr</sub>*) o caudal ecológico para efecto de integración y del balance de disponibilidad de la cuenca:

$$V_{fr} = V_{t_{Coe}} + V_{t_{Ra}}$$

$$V_{fr} = 3,648 + 198 = 3,845 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

$$EMA = 5,093 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

$$V_{fr} = 3,845 \text{ Mm}^3/\text{año} = 75\% \text{ del EMA}$$

### Parámetros hidrológicos de los grupos 1 y 2 del método IHA-RVN

A continuación se muestran de manera mensual (Grupo 1), ver tabla 12 y para diferentes periodos (Grupo 2) ver tabla 13, los percentiles que representan la variabilidad natural del río en la estación hidrométrica Paso de la Reina.

Mes	Percentil 25 (m <sup>3</sup> /s)	Percentil 75 (m <sup>3</sup> /s)	Periodo	Percentil (m <sup>3</sup> /s)				
				10	25	50	75	90
Enero	82.57	205.40	1-día mínimo	12.49	14.96	18.14	19.99	25.28
Febrero	161.20	253.70	3-días mínimo	12.80	15.58	17.97	20.40	25.88
Marzo	171.70	353.70	7-días mínimo	13.01	16.36	19.87	21.69	26.29
Abril	298.30	508.90	30-días mínimo	15.09	18.67	21.59	25.64	31.94
Mayo	187.60	346.90	90-días mínimo	21.23	26.24	31.77	37.56	41.96
Junio	97.81	136.10	1-día máximo	646.70	768.00	978.50	1,499.00	2,396.00
Julio	62.73	78.46	3-días máximo	550.60	644.80	861.90	1,262.00	1,828.00
Agosto	44.27	57.66	7-días máximo	431.00	569.80	718.40	1,049.00	1,446.00
Septiembre	33.89	42.58	30-días máximo	321.50	370.40	498.20	697.80	920.40
Octubre	23.98	32.07	90-días máximo	242.80	296.60	375.70	465.70	636.10
Noviembre	19.42	27.98	Número de días cero	0	0	0	0	0
Diciembre	23.37	51.19						

**Tabla13.** Parámetros IHA del Grupo 2

**Tabla12.** Parámetros IHA del Grupo 1

## 5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los objetivos ambientales aunque ya han sido definidos por la NMX es importante que sean revisados y se acuerden entre los distintos actores de la cuenca, ya sea para grandes áreas o a nivel de micro cuenca o tramo del río donde se requiera mayor aprovechamiento o conservación.

Los valores de referencia se recomienda utilizarlos únicamente para estudios de planeación temprana ya que son útiles para orientar la asignación o concesión del agua, considerando la reserva que se debe dejar para la conservación de los ecosistemas. Estos valores son anualizados aplicarían en la NOM de disponibilidad. Comparativamente el método Tennant protege mejor los meses de estiaje para OA más altos. Contrariamente en los métodos detallados como el de Tennant, el caudal ecológico no puede ser menor al caudal base pero este representa un valor inferior que puede ser poco frecuente. En el ejemplo realizado el CE fue mayor que el CB.

En el método de WWF se da una importancia relativa al volumen asociado a las avenidas y se requiere que un sitio con objetivo ambiental A asigne un valor de crecimiento pormenorizado a un período de 10 años. El resultado final es un volumen anual que incluye dicho crecimiento por avenidas.

El método IHA con un análisis no paramétrico establece la variación natural de forma mensual y para diferentes períodos, lo que permite reconocer valores extremos dentro de cada estación estiaje y lluvias y por lo tanto el tratamiento que se le daría al río al imitar lo más posible su régimen.

Tanto para la planeación como el cumplimiento normativo los métodos hidrológicos de la NMX son adecuados, mientras que un método que represente mejor el régimen natural será muy útil para estrategias de conservación, por lo que se recomienda su uso combinado.

## 6 REFERENCIAS

- Annear, T., Chisholm, I., Beecher, H., & Locke, A. (2004). *Instream flows for riverine resource stewardship*. (Instream Flow Council, Ed.) (Revised ed., p. 268). Cheyenne, WY: Instream Flow Council.
- Calvache, A., Benítez, S., & Ramos, A. (2012). *Fondos de Agua: Conservando la Infraestructura Verde. Guía de Diseño, Creación y Operación*. (Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, Ed.) (1st ed., p. 144). Bogotá, Colombia.: The Nature Conservancy, Fundación FEMSA y Banco Interamericano de Desarrollo.
- CONAGUA. (2011a). *Identificación de reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México*. (SEMARNAT, Ed.) (Primera Ed.). Mexico: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2011b). *Estadísticas del agua en México, edición 2011*. (SEMARNAT, Ed.) (p. 185). México: SEMARNAT.
- Declaración de Brisbane. (2007). *Declaración de Brisbane*.
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J. (2003). *Elementos esenciales de los caudales ambientales*. (p. 125). San José, C.R: UICN-ORMA.
- ELOHA. (2010). *Límites Ecológicos de las Alteraciones Hidrológicas. Ecological Applications* (pp. 1–4).
- García, R. E., González, R., Martínez, P., Athalía, J., & Paz-Soldán, G. (1999). *Guía de aplicación de los métodos de cálculo de caudales de reserva ecológicos en México* (Colección ., p. 190). México: CNA-IMTA-SEMARNAP.
- NMX-AA-159-SCFI-2012 Norma Mexicana. Que establece el procedimiento para la determinación del Caudal ecológico en cuencas hidrológicas. México, D.F., 20 de septiembre de 2012. (2012).
- NOM-011-CNA-2000. (2002, April 17). NORMA Oficial Mexicana, Conservación del recurso agua. Que establece las especificaciones y el método para disponibilidad media anual de las aguas nacionales., pp. 2–21. México: DOF.
- Poff, N. L., Richter, B. D., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Naiman, R. J., Kendy, E., Acreman, M., et al. (2010). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*, 55(1), 147–170. Retrieved from <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2427.2009.02204.x>
- TNC. (2013). Agua Dulce - Manteniendo el caudal ambiental en los ríos. *Consultada en Mayo de 2013*. Retrieved from <http://espanol.tnc.org/habitats/aguadulce/flujorios.html>
- TNC (The nature Conservancy). (2009). Indicators of Hydrologic Alteration Indicators of Hydrologic Alteration, (April).

Veza, P., Parasiewicz, P., Rosso, M., & Comoglio, C. (2011). Defining minimum environmental flows at region scale: Application of mesoscale habitat models and catchments classification. *River Research and Applications*.

# COMPORTAMIENTO DE LOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y SEDIMENTABLES EN CUERPOS DE AGUA: BÚSQUEDA DE MÉTODOS APLICABLES AL MONITOREO COMUNITARIO

Leopoldo GÓMEZ SANDOVAL<sup>a</sup>, Rosaura PÁEZ BRISTAIN<sup>b</sup> y Adriana FLORES-DÍAZ<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup> Licenciatura en Ciencias Ambientales, ENES- Unidad Morelia. [lgomez@lcambientales.unam.mx](mailto:lgomez@lcambientales.unam.mx)

<sup>b</sup> Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM campus Morelia.

<sup>c</sup> Global Water Watch – México. [www.globalwaterwatch.org](http://www.globalwaterwatch.org).

## RESUMEN

En una cuenca fluvial el incremento de los sólidos suspendidos en el cauce del río reduce la calidad del agua, ya que causan turbidez, disminución de la fotosíntesis, obstrucción de branquias en peces y sedimentación en los cuerpos receptores. Ante el creciente interés de las personas en el conocimiento de sus cuencas, el monitoreo comunitario participativo (MCP), provee herramienta técnicas a los ciudadanos para el monitoreo de variables de interés, entre las cuales están los sólidos suspendidos totales (SST). Sin embargo, su medición requiere equipo que usualmente no está disponible a nivel comunitario, lo que ha impulsado la búsqueda de parámetros similares, de medición sencilla. Este trabajo comparó los valores de SST y de Sólidos Sedimentables (SSed) para conocer (1) el comportamiento de estas variables en cuerpos de agua naturales; (2) si existe correlación entre ellas; y (3) cuál de ellas resulta más práctica para MCP. SST se determinó con el filtrado de muestras en GF/C a peso constante y SSed se determinó procesando muestras en conos Imhoff. Se muestrearon 18 puntos en Morelia y alrededores, y experimentalmente en el laboratorio, con 11 concentraciones entre 5.0 y 200.0 mgL<sup>-1</sup>. Se hicieron tres repeticiones para cada sitio o concentración y prueba. Los resultados indican que la carga de SST y SSed separa en dos grupos a los cuerpos de agua muestreados según su carga de sólidos, tendencia que se mantiene con los datos de laboratorio. La relación entre las variables resultó tener un comportamiento exponencial. De la medición de SST se obtienen datos más finos que de SSed, ya que éstos se presentan como bloques debido a la resolución del instrumento. Los experimentos realizados no permiten establecer claramente la relación entre las dos variables, ya que el origen de los sólidos determina su comportamiento en la columna de agua, donde la proporción de materia mineral y orgánica puede ser el factor determinante. Se requiere más investigación para determinar si el cambio de SST por SSed puede hacer más sencillas las prácticas ciudadanas, sin comprometer la resolución y calidad de la información recabada sobre la cuenca.

**Palabras clave:** Calidad del agua, erosión, indicadores ambientales, manejo de cuencas.

## 1 INTRODUCCION

La calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua mediante distintos parámetros o estándares que determinan su aptitud para un uso particular. En consecuencia, la calidad del agua puede definirse por una gama de variables que limitan su uso y está influenciada tanto por procesos naturales, como por actividades humanas. Las características físicas y la composición mineralógica del suelo y de las rocas, la topografía, las características hidroclimáticas y los procesos biológicos, afectan sustancialmente la calidad del agua. Las actividades humanas tienen un efecto directo sobre el ciclo hidrológico alterando su entorno cambiando sus características físicas, químicas y biológicas (Peters y Meybek, 2000). Todos estos procesos naturales y antrópicos tienen lugar en el espacio geográfico enmarcado por la cuenca hidrográfica, por lo que se ha reconocido a la cuenca como la unidad territorial más conveniente para la gestión del agua y de los recursos naturales asociados.

Desde la perspectiva del análisis de los procesos erosivos en la cuenca, los materiales resultantes tras la intervención de varios sistemas de transporte, van a ser depositados en zonas de sedimentación en donde van a acumularse grandes cantidades de materiales sólidos en función de las características morfo-estructurales, climáticas e hidrológicas en la cuenca de drenaje (Bermudez & Escudero, 1982). El material resultante de estos procesos erosivos modifica las características del agua afectando su calidad y sus diferentes usos.

Todos los agregados (sólidos, líquidos y gases) que llegan a los cuerpos de agua son incorporadas con tal rapidez que sobrepasan la capacidad de absorción o autodepuración por parte del sistema, provocando una acumulación de sedimentos. Los sólidos sedimentables son los materiales que sedimentan de una suspensión en un período de tiempo definido (American Public Health Association, 1992). Este tiempo es de 1 hora según la norma oficial mexicana NMX-AA-004-SCFI-2000 y son los causantes de que el tiempo de vida de los lagos y lagunas termine o sea más corto, pues como van hacia el fondo de los cuerpos de agua reducen la altura o la profundidad del cuerpo de agua y por consecuencia la capacidad para almacenar agua. La medición de SST y de SSed provee un buen panorama de los procesos erosivos, el acarreo de materiales a las zonas de deposición y si dichos procesos están siendo acelerados por el deterioro de la cuenca.

Los sólidos totales en suspensión son el material retenido sobre un filtro estándar después de la filtración de una muestra bien mezclada con agua. Estos sólidos son secados a 103 – 105 °C (American Public Health Association, 1992). Los TSS se originan potencialmente por la erosión del suelo y mediante descargas de aguas residuales. Se ha reconocido la importancia que tienen en la transferencia de nutrientes y contaminantes en los sistemas acuáticos y terrestres (Collins y Walling, 2004). El incremento en la cantidad de SST provoca que un cuerpo de agua pierda su capacidad para soportar vida acuática. Estos parámetros se encuentran en diferentes gradientes de manera natural, sin embargo estos gradientes se han acrecentado por las grandes aportaciones por actividades humanas (CONAGUA, 2011).

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial. La (CONAGUA, 2011) utiliza tres indicadores para evaluar la calidad del agua, la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST). La DBO5 y la DQO son utilizadas para determinar la cantidad de materia orgánica en los cuerpos de agua principalmente provenientes de las descargas de aguas residuales.

Por otra parte, el MCP comenzó a plantear la necesidad de involucrar a los ciudadanos en el conocimiento de sus cuencas, con herramientas y procesos que permiten generar datos confiables. De este modo, además de constituirse en un ejercicio de educación ambiental, el MCP puede generar información de buena calidad, abarcando una cantidad mucho mayor de sitios, monitoreados con mayor frecuencia. El monitoreo realizado por científicos es una actividad muy costosa ya que se necesita de personas y laboratorios especializados. La colaboración entre los científicos y la ciudadanía puede aportar información técnicamente correcta. Por estas razones, el MCP requiere contar con herramientas que permitan medir parámetros sensibles a los procesos que ocurren en la cuenca, de formas sencillas.

Este trabajo comparó los valores de SST y SSed para conocer (1) el comportamiento de estas variables en cuerpos de agua naturales; (2) si existe correlación entre ellas; y (3) cuál de ellas resulta más práctica para MCP.



## 2 ÁREA DE ESTUDIO

La capital del estado de Michoacán es la ciudad de Morelia, y se encuentra localizada al Norte-Oeste del estado, tiene una extensión de 1,308 km<sup>2</sup>. Morelia se ubica en el antiguo valle de Guayangareo, tiene una extensión de 25 km de Oriente a Poniente y 15 km del norte al sur. Rodeando a la ciudad se encuentran los volcanes de Atécuaro y Punhuato y los volcanes Quinceo-Las Tetillas y el águila de edad Cuaternaria. Estos últimos forman parte del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM). La ciudad está ubicada en los 19°42' latitud Norte y los 101°11' de longitud Oeste con una altura de 1,941 msnm (Rocha et al. 2002). El clima se caracteriza por ser templado subhúmedo con una temperatura que oscila entre los 16.2 y 18.7 °C, por su parte la precipitación pluvial se presenta principalmente durante la temporada de lluvias (Mayo a Octubre), con una media anual de 780 mm (Hernández & Vieyra, 2010).



Figura 1. Localización del área de estudio.

## 3 METODOLOGÍA

Se determinó la cantidad de Ssed y SST en 18 afluentes seleccionados en diferentes puntos de la ciudad de Morelia mediante un muestreo estratificado que abarcaba la mayor parte de la ciudad (Tabla 1). Se realizaron 3 réplicas en los análisis de cada sitio.

**Tabla 1.** Sitios de Morelia y alrededores, ubicados dentro de la cuenca de Lago de Cuizteo, en donde se tomaron muestras para la medición de sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables.

Sitio	Acrónimo	Posición en la Cuenca	Tipo de cuerpo de agua
La Cortina	LC	Alta	Arroyo
Puerto Madroño	PM	Alta	Arroyo
Nieves	NV	Alta	Arroyo
El Arenal	EA	Alta	Arroyo
Río Bello	RB	Alta	Arroyo
Filtros Viejos	FV	Media	Arroyo

Manantiales	Man	Media	Manantial
Mintzita	MN	Baja	Manantial
Santiago Undameo 1	SU 1	Media	Arroyo
Arroyo Sur 1	Q2	Media	Arroyo
Santiago Undameo 2	SU2	Media	Canal
Cointzio	CO	Media	Presa
Arroyo Sur 2	Q1	Media	Arroyo
Umécuaro	UM	Media	Presa
Colonia Gertrudis Sánchez	GR	Baja	Arroyo
Arroyo de Tierras	CEM	Baja	Arroyo
Torreón	TRR	Baja	Canal
Cruce Río Chiquito	CRCh	Baja	Arroyo

A demás del análisis de los afluentes, se hicieron experimentos controlados en laboratorio, los cuales constaban de diluciones de material sólido en agua destilada. Se analizó la cantidad de Ssed y SST en 11 concentraciones 5, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 160 y 200 mg; cada una de ellas se realizó por triplicado.

La determinación de los parámetros se realizó siguiendo las normas oficiales mexicanas **NMX-AA-034-SCFI-2001** para determinar SST y **NMX-AA-004-SCFI-2000** para determinar Ssed.

Se llevó a cabo el análisis estadístico para establecer el modelo que describe la relación entre los SST y Ssed. Para dicho análisis se utilizó el software JMP (v.7.0).

#### 4 RESULTADOS

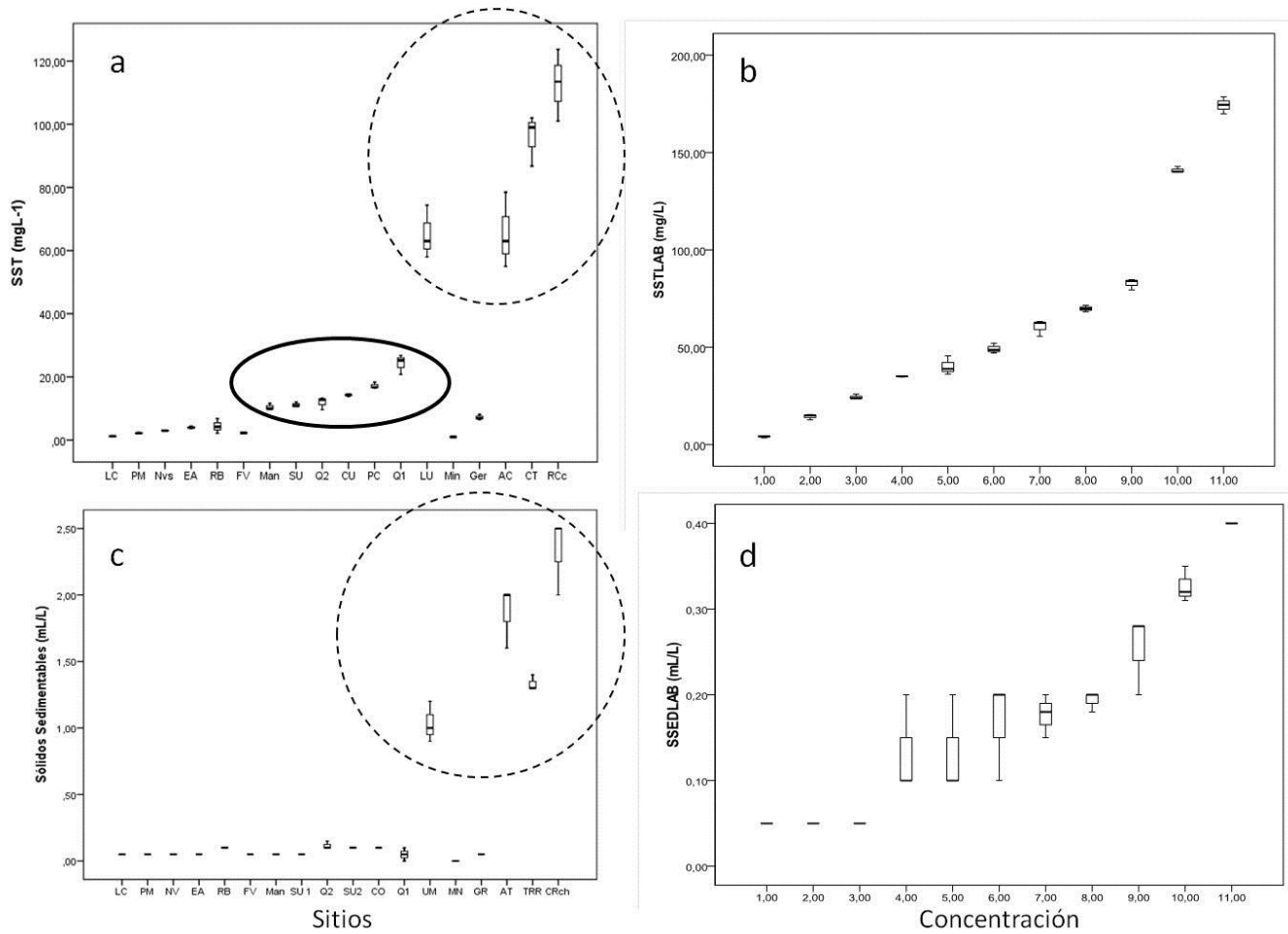
Los resultados obtenidos para la concentración de SST y Ssed, de los 18 sitios muestreados, y los obtenidos en laboratorio se muestran en la Tabla 2. En la tabla se puede observar claras diferencias en los rangos de concentración, tanto para SST como para Ssed, dependiendo del tipo de cuerpo de agua del que se trate y de su posición en las diferentes zonas de la cuenca. Los SST registran valores que van de 1,2 a 4,4 mgL<sup>-1</sup> para los arroyos en la parte alta de la cuenca; mientras que en la parte media, los valores fueron de 2,2 a 24.3 mgL<sup>-1</sup> en los arroyos, mientras que las presas registraron valores de 17.2 y 65,1 mgL<sup>-1</sup> (Cointzio y Umécuaro respectivamente). En la parte baja se observaron valores de 7,2 mgL<sup>-1</sup> a 112,8 mgL<sup>-1</sup> en las corrientes de agua y de 1.0 mgL<sup>-1</sup> en el manantial de la Mintzita. En cuanto a los sólidos sedimentables, en la parte alta, todos los sitios excepto Río Bello (0.1 mgL<sup>-1</sup>) registraron valores <0.1 mL<sup>-1</sup>; en la parte media la mayoría de los registros fue de 0.1 mL<sup>-1</sup> y <0.1, excepto para la presa de Umécuaro (1 mL<sup>-1</sup>). En la parte baja se observó un rango de <0.1 a 2.3 mL<sup>-1</sup> en los arroyos y de cero para el manantial de la Mintzita.

**Tabla 2.** Resultados del análisis de SST y SSed para las muestras de campo, en la zona de estudio.

<b>Campo</b>			<b>Laboratorio</b>		
<b>Sitio</b>	<b>SST (mgL<sup>-1</sup>)</b>	<b>SSED (mLL<sup>-1</sup>)</b>	<b>Concentración experimental (mgL<sup>-1</sup>)</b>	<b>SST (mgL<sup>-1</sup>)</b>	<b>SSED (mL L<sup>-1</sup>)</b>
Mintzita	1,0 ± 0,1	0	5	4,1 ± 0,5	< 0.1
La Cortina	1,2 ± 0,1	<0,1	20	14,4 ± 1,4	< 0.1
Puerto Madroño	2,2 ± 0,1	<0,1	30	24,5 ± 1,3	< 0.1
Filtros Viejos	2,2 ± 0,1	<0,1	40	35,1 ± 0,3	0,13 ± 0,06
Nieves	3,0 ± 0,1	<0,1	50	40,2 ± 4,8	0,13 ± 0,06
El Arenal	4,0 ± 0,3	<0,1	60	49,3 ± 2,6	0,16 ± 0,06
Río Bello	4,4 ± 2,3	0,1 ± 0,0	70	60,4 ± 4,2	0,17 ± 0,06
Gertrudis	7,2 ± 0,8	<0,1	80	69,9 ± 1,7	0,19 ± 0,01
Manantiales	10,4 ± 1,	<0,1	100	82,7 ± 2,8	0,25 ± 0,05
Santiago Undameo 1	11,2 ± 0,8	<0,1	160	141,0 ± 1,6	0,32 ± 0,02
Arroyo Q2	11,9 ± 2,0	0,1 ± 0,0	200	174,3 ± 4,4	0,4 ± 0
Santiago Undameo 2	14,2 ± 0,4	0,1 ± 0,0			
Cointzio	17,2 ± 1,0	0,1 ± 0,0			
Arroyo Q1	24,3 ± 3,1	0,1 ± 0,1			
Umécuaro	65,1 ± 8,4	1 ± 0,2			
Arroyo de Tierras	65,5 ± 11,9	1,9 ± 0,2			
Torreón	95,9 ± 8,1	1,3 ± 0,1			
Cruce Río Chiquito	112,8 ± 11,4	2,3 ± 0,3			

Los resultados de laboratorio obtenidos tanto para SST y SSed se muestran en la Tabla 2. De estos resultados, destaca la recuperación de aproximadamente el 80% de sólidos suspendidos, para cada concentración experimental; obteniéndose un rango de valores observados de 4.1 a 174.3 mgL<sup>-1</sup> de SST, para el rango de valores experimentales usados (5 a 200 mg de sólidos). La concentración de SSed varió de <0.1 a 0.4 mL<sup>-1</sup>, para la menor y mayor concentración experimental usada.

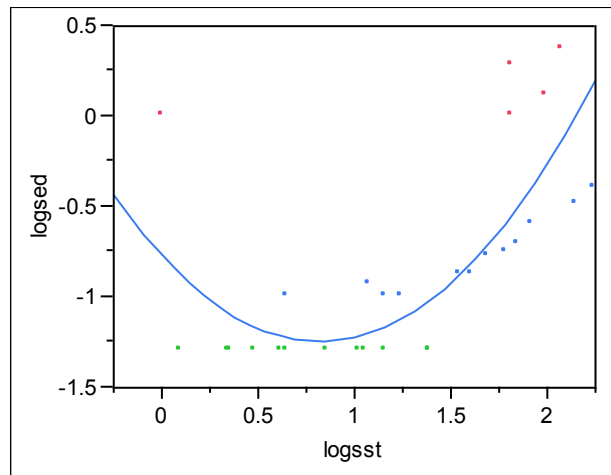
**Figura 2.** Gráficos que muestran el comportamiento de las variables estudiadas: SST y SSed (a) y (c) en cuerpos de agua naturales; (b) y (d) en concentraciones de laboratorio.



En la Figura 2 se muestran los valores obtenidos en campo y laboratorio, para las variables estudiadas. En el caso de los SST en los valores de campo se aprecian 3 grupos, donde los sitios con mayor carga se separan de los otros dos. En cuanto a los valores de las concentraciones de laboratorio, la carga de SST se incrementa de manera constante. Los SSed presentan la misma tendencia, siendo que para los valores de muestras de campo, solo se separan los sitios con más de 1.0 mL/L-1, y en las concentraciones experimentales se separan los valores muy pequeños y aquellos superiores a 9.0 mg/L-1.

La relación entre las variables fue calculada con un modelo cuadrático, donde la  $R^2 = 0.58$  (Fig. 3).

**Figura 3.** Ajuste de la relación entre SST y SSed para todas las muestras procesadas.



$$\text{logsed} = -1.857394 + 0.5920727 * \text{logsst} + 0.7089637 * (\text{logsst} - 1.23943)^2$$

R2= 0.58; p<0.01 para todos los parámetros

## 5 DISCUSIÓN

El comportamiento de las variables estudiadas muestra rasgos que resultan interesantes ante las preguntas de esta investigación. Los SST muestran un comportamiento exponencial, en los datos de campo y en las concentraciones experimentales de laboratorio. Los SSed muestran un comportamiento escalonado, en el cual los resultados se distribuyen en “bloques” de datos. Por otra parte, no se presenta una relación tan fuerte entre las variables, con lo cual se abren nuevas preguntas de investigación.

Los sitios ubicados en partes “emisoras” de la cuenca (comportamiento de las partes altas), ya sean arroyos o manantiales, presentan una carga baja de sólidos (SST entre 1.0 y 10.0 mgL-1). De este modo, siendo la medición de SST más fina que la de SSed, es posible apreciar el incremento gradual de la variable. Para SSed los valores se ubican en rangos específicos, que agrupan diversos sitios de modo que todos quedan representados en el mismo bloque. En este sentido, el método SST permite apreciar con mejor resolución el incremento en los sólidos, aspecto muy importante ya que son valores asociados al caudal del cuerpo de agua.

En el caso de los sitios que tienen una carga intermedia de sólidos (SST entre 10.0 y 30.0 mgL-1) se observa un comportamiento es similar al anterior. La medición fina de SST permite conocer de modo más fino las tendencias en cuanto al incremento o disminución de la variable.

Los sitios con mayor carga de sólidos (SST entre 60.00 y 120.0 mgL-1) se distinguen claramente en la medición de las dos variables, aunque en la medición de laboratorio, parece que el incremento en SSed es gradual.

En este sentido, es posible que la medición de SST sea más adecuada, por ser de mejor resolución y por tanto más sensible ante los cambios en dicha carga.

Las variables no presentaron en este estudio, una relación fuerte. Esto indica que es necesario contemplar otros aspectos de los mismos sólidos. En ese sentido es necesario reconocer que el origen de los sólidos determina su comportamiento en la columna de agua, donde la proporción de materia mineral y orgánica puede ser el factor

determinante. Al respecto, es necesario ir más allá en la investigación para determinar la importancia que tiene el origen de la carga de sólidos, sobre el comportamiento de las variables (Gruszowski et al., 2003).

La medición de estas variables y la distinción del tipo de carga son de vital importancia para los cuerpos de agua, ya que los sólidos interactúan con otros factores ambientales, como la Demanda Biológica de Oxígeno. Las interacciones entre componentes en los sistemas fluviales pueden determinar los posibles usos del agua y reflejan la salud de los mismos ecosistemas. Conocer el comportamiento de estas variables puede orientar las prácticas de conservación y restauración, ya que son muy sensibles al estado de la cuenca y mantienen una gran interacción con otras variables ambientales (Walling y Collins, 2008). Al respecto, los resultados de este estudio no son concluyentes.

Ya que el objetivo principal del estudio está orientado a la búsqueda de opciones para el MCP, es necesario señalar que se requiere más investigación para contar con métodos sencillos pero con una gran certidumbre en la generación de información para los grupos y comunidades involucrados en el monitoreo de sus cuencas.

La sencillez de las técnicas no es suficiente criterio para que sean incluidas como parte de las herramientas técnicas dentro del MCP. Las pruebas deben contar con una sensibilidad y resolución suficientes para que el esfuerzo de los grupos de monitores se vea reflejado en una buena calidad de la información generada.

## **6 CONCLUSIONES**

Las variables estudiadas muestran comportamiento similar, que se refleja en un nivel medio de correlación. La sensibilidad de los instrumentos hace que los SST sean un indicador que ofrece mejor resolución, sobre todo en sitios donde la carga de sedimentos es baja a intermedia.

Los SSed se comportan de forma escalonada, por lo que las mediciones de SST quedan agrupadas dentro de un “bloque” de valores de SSed, disminuyendo la posibilidad de detectar cambios importantes en el acarreo de materiales. Tales valores pueden enmascarar umbrales de deterioro que con la medición SST si pueden ser detectados.

Se requiere más investigación para comprender mejor la relación entre estas variables, así como su interacción con otros indicadores importantes de contaminación en la cuenca. En ese sentido, los resultados de este estudio no son concluyentes.

Las herramientas técnicas impulsadas para el monitoreo comunitario requieren mayor certidumbre.

## **7 AGRADECIMIENTOS**

Gracias al Laboratorio de Agua y Suelos del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) y al Laboratorio de Comunicación para el Manejo de Ecosistemas, del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECO) de la UNAM- Morelia. Gracias también a Raúl Ahedo, Heberto Ferreira, Alberto Valencia, Atzimba López, del CIECO- UNAM. Gracias a Miriam Ramos – Escobedo por sus comentarios sobre las técnicas.

## 8 REFERENCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th Edition. Washington, APHA, AWWA, WWCF, 1992. pp 2-56
- Bermudez, F., & Escudero, J. (1982). Estimación de la erosión y aterramientos de embalses en la cuenca hidrográfica del río segura. *Cuadernos de investigación geográfica*, 3-18.
- Collins, A.L., & Walling, D.E. 2004. Documenting catchment suspended sediment source: problems, approaches and prospects. *Progress in Physical Geography*, 28: 159-196.
- CONAGUA. (7 de Noviembre de 2011). conagua.gob.mx. Recuperado el 10 de Abril de 2013, de <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=63&n3=98&n4=98>.
- Gruszowski, K. E., Foster, I. D. L., Lees, J. A. & Charlesworth. 2003. Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. *Hidrological Processes*, 17: 2665-2681.
- Hernández, J., & Vieyra, A. (2010). Riesgos por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana. ¿El desastre nace o se hace? *Revista de Geografía Norte Grande*, 45-62.
- JMP. 2010. Software v. 7.0. Statistical Discovery. SAS. <http://www.jmp.com/software/>
- Peters, N. E. & Meybeck, M. 2000. Water Quality Degradation Effects on Freshwater Availability: Impacts of Human Activities. *Water Internationa*, 25: 185-193.
- Rocha, A., Monroy, V., Canuti, P., Casaglie, N., Lotti, A., & S, C. (2002). Análisis geomecánico de la inestabilidad del escarpe La Paloma, en la ciudad de Moerlia, Michocan, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 91-106.
- Walling, D. E. & Collin, A. L. 2008. The catchment sediment budget as a management tool. *Environmental Science and Policy*, 11: 136-143.





# EVALUACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL AGUA DEL RÍO ATOYAC EN LA MICROCUENCA DE LA RESERVA ESTATAL SIERRA DEL TENTZO, PUEBLA

Yesenia RODRÍGUEZ<sup>1</sup>, Anabella HANDAL<sup>2</sup>, Moisés CARCAÑO<sup>3</sup>, Sonia SILVA<sup>4</sup>, Gladys LINARES<sup>5</sup>, Ernesto MANGAS RAMÍREZ<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Posgrado en Ciencias Ambientales. Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

[yeka53@hotmail.com](mailto:yeka53@hotmail.com),

<sup>2</sup>Departamento de Biología y Toxicología de la Reproducción. Instituto de Ciencias-BUAP.

<sup>3</sup>Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas. Instituto de Ciencias-BUAP.

<sup>4</sup>Departamento de Desarrollo Sustentable. Instituto de Ciencias-BUAP.

<sup>5</sup>Departamento de Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencias-BUAP.

<sup>6</sup>Escuela de Biología BUAP.

14 sur 6301, San Manuel, Puebla, Pue. Tel. (2222)295500. Fax: 2295649.

## 1. RESUMEN

La investigación se realizó en la microcuena del río Atoyac, ubicada en la Reserva Estatal Sierra del Tentzo, entre los municipios de Atoyatempan y Molcaxac. Las poblaciones de ambos municipios, utilizan el agua, para el desempeño de sus actividades económicas, sociales y culturales. Por tal motivo la calidad del agua del río Atoyac, debe encontrarse en condiciones adecuadas para el consumo humano, agrícola y de recreación. Los objetivos a cumplir son: caracterización de la microcuena, evaluación de los factores físicos, químicos y microbiológicos del agua del río Atoyac y su impacto ambiental en la salud de los pobladores de ambos municipios. Se seleccionaron 5 estaciones de muestreo en el río Atoyac. La toma de muestras se realizó mensualmente durante un año, los análisis físico- químicos se llevaron a cabo mediante métodos convencionales y el análisis microbiológico por la técnica del NMP. Los resultados demostraron que el análisis físico y químico del agua en las 5 estaciones de muestreo fueron homogéneos y se encuentran dentro de los límites máximos permisibles según la NOM-001-SEMARNAT-1996. Los niveles más bajos de oxígeno fueron en el agua utilizada para riego. El análisis microbiológico, demostró la presencia de coliformes totales y fecales y estas rebasan los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-127-SSA1-1994. Se concluye que la contaminación microbiológica se presenta de manera importante en las 5 estaciones, con la presencia de microorganismos que son patógenos intestinales.

**Palabras clave:** Río Atoyac, contaminación del agua, coliformes, Sierra del Tentzo.

## 2. INTRODUCCIÓN

El agua es parte integrante del ecosistema, un recurso natural, un bien social y bien económico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización. Con tal fin, hay que proteger esos recursos, teniendo en cuenta el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y el carácter perenne del recurso con miras a satisfacer y conciliar las necesidades de agua en las actividades humanas (Agenda 21 sección 2 capítulo 18, 1992).

Las estimaciones cuantitativas de la disponibilidad del agua no reflejan por completo el problema de las necesidades de este recurso, ya que la calidad del agua en la mayor parte del mundo está lejos de ser la adecuada. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una quinta parte de la población mundial no tiene acceso al agua libre de contaminantes (FNUAP, 2001), situación que se acentúa en áreas rurales donde no existe la posibilidad de que el agua tenga un tratamiento previo que mejore su calidad y posibilite su uso general.

La calidad del agua está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua, y la cantidad misma de agua de los ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación.

A nivel mundial en los países en desarrollo se da tratamiento a menos del 10% del agua, situación no muy diferente en México, donde los porcentajes están cerca del 20%, ya sea agua utilizada en servicios urbanos o industriales. Esto significa que la inmensa mayoría del líquido se vierte a ríos, lagos o mares sin ningún tratamiento previo, ocasionando la contaminación de éstos y, en consecuencia, la reducción de agua disponible.

Por la gran biodiversidad, el Estado de Puebla cuenta con áreas naturales protegidas como son: la Cuenca hidrográfica del río Necaxa y el Área natural Protegida Tehuacan- Cuicatlan y la Reserva Estatal Sierra del Tentzo que fue declarada como tal, el 2 de mayo del 2011.

Las Áreas Naturales Protegidas son áreas que se encuentran sujetas a un régimen legal especial de protección y/o de manejo sostenible de recursos naturales renovables. Éstas representan una forma particular de uso de la tierra, en la cual la ocupación del espacio y la utilización de los recursos naturales se hacen en armonía con los procesos ecológicos (LGEEPA, 2012). Estos espacios naturales son importantes porque contribuyen a la conservación de la diversidad biológica del país y del mundo, tanto de ecosistemas como de especies y genes. Permiten conservar y proteger hábitats, especies, paisajes, formaciones ecológicas, suelos frágiles, fuentes de agua y elementos culturales de importancia nacional. Además todos disfrutamos de los valores económicos, culturales, estéticos y espirituales de la diversidad biológica.

En el presente trabajo de investigación se realiza una evaluación física, química y biológica del agua del río Atoyac en la microcuenca de la Reserva Estatal Sierra del Tentzo.

### **3. MATERIALES Y METODOS**

El objetivo que se persigue es evaluar la condición física, química y biológica del agua del río Atoyac en la microcuenca de la Reserva Estatal Sierra del Tentzo (figura 1), para lo cual se siguió la metodología que se menciona a continuación.

La presente investigación se realizó en el Departamento de Biología y Toxicología de la Reproducción, el Laboratorio de Microbiología de Suelos del Centro de Investigación en Ciencias Microbiológicas y el Laboratorio de Limnología de la Escuela de Biología. La investigación inició en mayo 2012 y finalizó en abril del 2013. El estudio comprenderá las siguientes etapas:

Primera Etapa: Evaluación física y química del agua del río Atoyac.

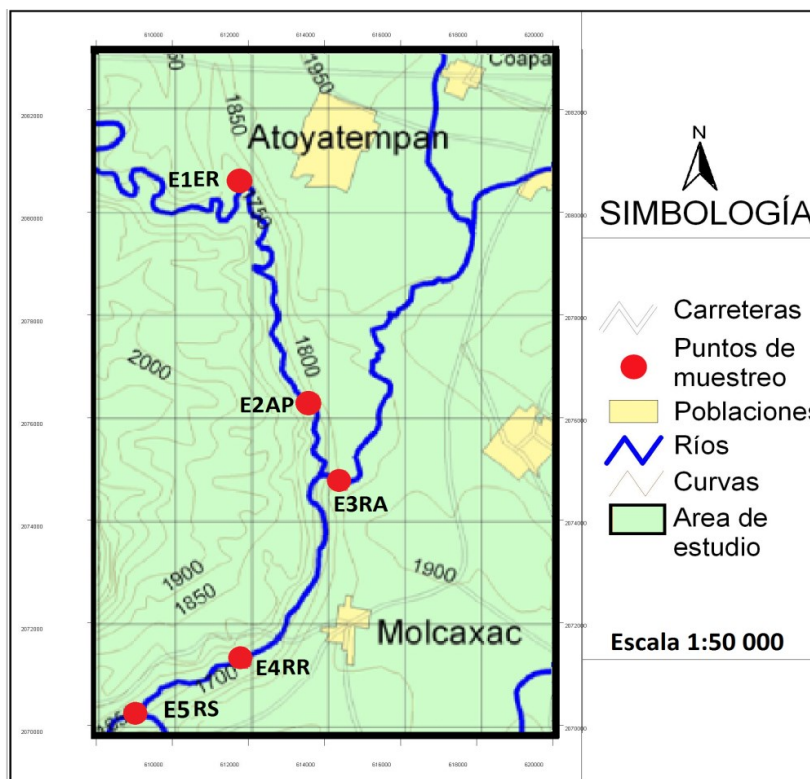
Segunda Etapa: Evaluación biológica del agua del río Atoyac comprende análisis microbiológico; coliformes totales, fecales e identificación de microorganismos.

Estas fases contemplan trabajo de campo y trabajo de laboratorio.

A fin de cumplir con este objetivo primero se determinó la localización de las estaciones de muestreo ubicadas en los municipios de Atoyatempan y Molcaxac seleccionadas de acuerdo al uso que se le da al recurso agua. (Ver Cuadro 1 y Figura 1).

**Cuadro 1. Características de las zonas de colecta.**

Estación 1 (E1ER)	Es el lugar de entrada del río al municipio de Atoyatempan.
Estación 2 (E2AP)	El agua es utilizada para consumo humano.
Estación 3 (E3RA)	El agua es utilizada para riego agrícola.
Estación 4 (E4RR)	El agua es utilizada en actividades de recreación.
Estación 5 (E5RS)	El agua es utilizada en actividades de recreación y es el lugar de salida del río del municipio de Molcaxac.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de las estaciones de colecta en la microcuenca de la sierra del Tentzo (INEGI 2001, carta topográfica E14B54 y E14B64).

**4. RESULTADOS**

**4.1 Primera Etapa: Evaluación física y química del agua del río Atoyac**

Los resultados promedio de los factores físicos y químicos de las cinco estaciones de muestreo se presentan en las tablas anexadas en los cuadros Anexo 1 y 2.

La temperatura de las muestras de agua durante el año muestreado fue se encuentran entre 17°C y 22 °C.

Con relación al oxígeno disuelto en el agua podemos observar que en la estación E2AP (Estación 2 donde el agua es utilizada para consumo humano) los valores de oxígeno disuelto (OD) se encuentran entre  $4.6 \text{ mg/L}^{-1}$ , y  $10 \text{ mg/L}^{-1}$ , en la temporada de lluvia y en la temporada de secas los valores de oxígeno disuelto oscilaron entre  $5 \text{ mg/L}^{-1}$  y  $15.5 \text{ mg/L}^{-1}$  aguas oxigenadas e hiperoxigenadas, de buena calidad.

De acuerdo a la NOM-SSA1-1994 agua para uso y consumo humano y la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, para su disposición mediante riego agrícola; no señalan límites permisibles para el oxígeno disuelto y el % de saturación de oxígeno en el agua. En la estación E3RA (Estación 3 el agua es utilizada para riego agrícola) los niveles de oxígeno disuelto fueron muy deficientes en la temporada de lluvia hasta de 0 en los meses de julio y octubre esto pudo deberse a la presencia de lluvias y al acarreo de materia orgánica en descomposición. Sin embargo en la temporada de secas se presentó ausencia total de OD condición anóxica resultado de un río orgánicamente contaminado. (Lampert y sommer, 1997).

En las estaciones E1ER, E4RR y E5RS (Son los lugares de entrada del río Atoyac al municipio de Atoyatempan, recreación para los lugareños de Atoyatempan y Molcaxac y donde el agua del río sale del municipio de Molcaxac.). En estas estaciones los valores de oxígeno disuelto (OD) en la temporada de lluvia oscilaron entre  $4 \text{ mg/L}^{-1}$  y  $12.5 \text{ mg/L}^{-1}$  guas desde oxigenadas hasta hiperoxigenadas. En la temporada de secas se obtuvieron valores de altos de  $10 \text{ mg/L}^{-1}$  hasta  $20 \text{ mg/L}^{-1}$  mostrándonos agua hiperoxigenadas y de buena calidad (Anexo 2). Observándose una correspondencia en los valores de % de saturación de oxígeno (Ver anexo 1 y 2).

Al determinar los valores del pH se encuentran dentro de un intervalo ligeramente alcalino de 7.3 a alcalino de hasta excesivamente alcalino 9.5 debido a carbonatos presentes en el tipo de suelo (Arteta,1984). En las estaciones E1ER, E4RR, E5RS un intervalo medio es de 6.5 a 8.4 valores superiores a estos se consideran malos. En general en un acuífero ideal se esperaría un valor de pH cercano a 7.0 (Chapelle, 1993), pero la presencia natural de diferentes sales establece condiciones alcalinas y muy probablemente le confiere al acuífero una capacidad suficiente para amortiguar la presencia de contaminantes ácidos. Las estaciones E2AP y E3RA el pH oscilo entre 6.8 y 8.2, estos valores se encuentran dentro de los límites permisibles según la NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-001-SEMARNAT-1996 que nos señala que los valores de pH deben de encontrarse entre 6.5 y 8.5. Pero es rebasado en los meses de agosto, septiembre y noviembre (Ver anexo 1 y 2).

Con base a la NOM-127-SSA1-1994 el contenido de cloruros en el agua, en la estación E3RA (agua para riego agrícola) en todos los casos de la temporada de seca rebosaron la NOM que es de  $250 \text{ mg/L}$  para agua potable con valores de  $650 \text{ mg/L}$  hasta  $1050 \text{ mg/L}$ . En la temporada de lluvia los valores obtenidos se encontraron dentro de la norma esto puede deberse al arrastre originado por las lluvias. En las estaciones de muestreo restante en ningún caso rebaza la normatividad.

La dureza obtenida en la temporada de lluvias en todos los casos los valores se encuentran por debajo de los límites permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 que es de  $500 \text{ mg/L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ . (Anexo 1) Sim embargo este valor es rebasado en la temporada de secas, en todos los casos en la estación E3RA, utilizada para riego agrícola.

## **4.2 Resultados microbiológicos.**

### **4.2.1 Coliformes totales y fecales.**

Los valores promedio de los coliformes totales y fecales en las cinco estaciones analizadas en la temporada de lluvias y secas muestreadas durante un año, se muestran en los Cuadros 3 y 4 graficados en las Figuras 8 y 9.

Estos valores se obtuvieron mediante la técnica del Número Más Probable (NMP), con base en los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Límites permisibles de características bacteriológicas.**

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales.	2 NMP/100 mL
Organismos coliformes fecales.	No detectable NMP/100 mL

NOM-127-SSA1-1994.

**Cuadro 3. Medias de los coliformes totales (NMP/100mL) de mayo 2012 a abril 2013.**

Estación	Medias de los coliformes totales (NMP/100mL)											
	2012						2013					
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
E1ER	70.0	666.6	248.3	666.6	1300.0	123.3	396.6	250.0	48.3	1.3	61.6	81.7
E2AP	7.3	22.3	2.1	0.8	37.0	1.2	4.0	5.6	6.0	6.6	20.6	1.3
E3RA	1400.0	1400.0	1400.0	1400.0	1400.0	1400.0	1400.0	1400.0	1400.0	700.0	1300.0	1033.3
E4RR	158.6	1400.0	211.6	766.6	633.3	883.3	1400.0	383.3	533.3	175.0	19.6	150.0
E5RS	33.3	1400.0	113.3	450.0	1400.0	383.3	1400.0	316.6	61.6	30.0	14.3	81.7

E1ER= Estación 1 entrada del río Atoyac, E2AP= Estación 2 agua potable, E3RA= Estación 3 riego agrícola. E4RR= Estación 4 recreación en el río Atoyac, E5RS= Estación 5 recreación y salida del río Atoyac.

Los valores más bajos se presentaron en las estaciones E2AP en todos los meses. Encontrándose dentro de los límites permitidos por la NOM-127-SSA1-1994, en los meses de julio, agosto, octubre y abril. (Ver cuadros 2 y 3).

En la estación donde el agua es utilizada para consumo humano E2AP, los niveles de contaminación en comparación con las otras zonas de muestreo, son menores durante el año muestreado, sin embargo no está exento de recibir contaminación por coliformes; dado que en la mayoría de los meses se presentaron más de 2.00 y 0 unidades de coliformes totales y fecales, mismos que rebasan los valores permisibles del agua, para ser utilizada para el uso y consumo humano según la NOM-127-SSA1-1994.

**Cuadro 4. Valores promedios de coliformes fecales de Mayo 2012 – Abril 2013.**

Estación	Medias de los coliformes fecales (NMP/100mL)											
	2012						2013					
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
E1ER	4.3	500.0	248.3	666.7	883.3	87.0	38.3	31.7	4.3	7.3	12.7	81.7
E2AP	5.7	13.7	0.9	0.3	1.6	0.3	1.3	1.3	4.3	2.1	2.7	1.3
E3RA	1400.0	933.3	1400.0	1400.0	1400.0	1400.0	533.3	816.7	1400.0	383.3	1300.0	1033.3
E4RR	6.3	1300.0	211.7	666.7	633.3	430.0	250.0	316.7	388.3	49.7	14.3	65.0
E5RS	14.7	31.7	58.3	383.3	600.0	183.3	600.0	316.7	41.7	13.7	12.7	16.0

E1RA= Estación 1 entrada del río Atoyac, E2AP= Estación 2 agua potable, E3RA= Estación 3 riego agrícola. E4RR= Estación 4 recreación en el río Atoyac, E5RS= Estación 5 recreación y salida del río Atoyac.

El análisis de agua realizado en el punto de la toma de agua para uso agrícola en la estación E3RA se conoce con el nombre de la Barranca el Águila (Ver Figura 1). En esta estación se observa una mayor concentración de desechos orgánicos, durante el año muestreado, producto de los vertimientos urbanos de los municipios cercanos como son; Tecamachalco, Tepeyahualco de Cuahutemoc y comunidades cercanas. Probablemente la gran cantidad de materia orgánica presente en el medio, excede la capacidad de degradación de la materia por los microorganismos presentes en el ecosistema de esta zona y coincide con los niveles bajos de oxígeno. En la primera estación, que es la zona donde se inicia el estudio y el río entra al municipio de Atoyatempan (E1ER) los coliformes fecales oscilaron entre 4.3 y 883.3 según la NOM, rebasan los límites permisibles.

En la estación E4RR se presentan los valores más altos de coliformes, en comparación a la estación E5RS zonas utilizadas para actividades de recreación, estos resultados probablemente se debe a que en esta estación se encuentra ubicada después que se vierten grandes cantidades de desechos urbanos, en la llamada Barranca del Aguila que desemboca en el río Atoyac (Ver Figura 1). Los valores más altos se presentaron en la época de lluvia, lo cual pudo incrementar la concentración de contaminantes. En la estación E5RS muestreada es un lugar de recreación y el punto donde sale el río de la zona de estudio, los valores de coliformes fecales fue menor, esto puede ser resultado de la autodepuración natural del río. Al analizar los valores promedios de coliformes totales y fecales obtenidos en las cinco zonas de muestreo se puede concluir de manera general que los más altos promedios se presentan en la estación E3RA en todos los meses, estos valores rebasan los límites permisibles por la NOM-127 ssa1-1994.

#### 4.2.2 Identificación de colonias.

Las bacterias se obtuvieron en cultivo puro sembradas en placa por la técnica de estría en los medios de cultivo *Salmonella* y *shigella* así como también en Mc conkey, para determinar las características del cultivo (Ver cuadro 5).

**Cuadro 5. Colonias y microorganismos presentes en las estaciones en muestreo de los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2012.**

Identificación/meses	Colonias	Microorganismos	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	No	Di	En	Fe	Mr	Ab
1	Incoloras, transparentes.	<i>Shigellas</i> <i>Salmonellas.</i>	y	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x
2	Rosadas hasta rojas.	<i>Escherichia coli.</i>		x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
3	Rosadas hasta de color cremoso-blanquecinas, opacas, mucosas.	<i>Enterobacter.</i>		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	Transparentes, con centro negro.	<i>Proteus</i> <i>Salmonellas.</i>	y	x	x	x	ND	ND	ND	x	x	x	x	x

\*ND=No detectadas

Al realizar la identificación de colonias de bacterias presentes en las 5 estaciones muestreadas durante un año, se presentaron colonias con las mismas características destacando que en todas las estaciones de muestreo incluyendo el agua que es utilizada como agua potable.

La presencia de bacterias coliformes en la estación que es utilizada para agua potable, indica que existe una contaminación de origen antrópico en el acuífero y la presencia de microorganismos patógenos, señala la importancia de desinfectar el agua antes de su uso y consumo.

La presencia de coliformes, son un riesgo para la salud de las personas que en temporada de estiaje acostumbra nadar en esta zona. También las descargas de aguas negras sin tratamiento previo de desinfección contaminan este río, esta situación incrementa de manera importante y contribuye a la proliferación de microorganismos patógenos en el medio acuático.

### Identificación de bacterias de la familia Enterobacteriaceae y otras bacterias Gram negativas.

Para la identificación de algunos grupos de bacterias, entre ellas las especies de la familia enterobacteriaceae, se ha simplificado mediante sistemas de Identificación estandarizada, API 20E, que ha sido utilizado en diferentes estudios. En las pruebas aplicadas de API20E para la identificación de bacterias de la familia Enterobacteriaceae y otras bacterias Gram negativas aplicadas. Con el cual se obtendrá un código, con este código se buscara en la tabla de identificación la especie que se trata, mediante programas informáticos (Ver figura 2).

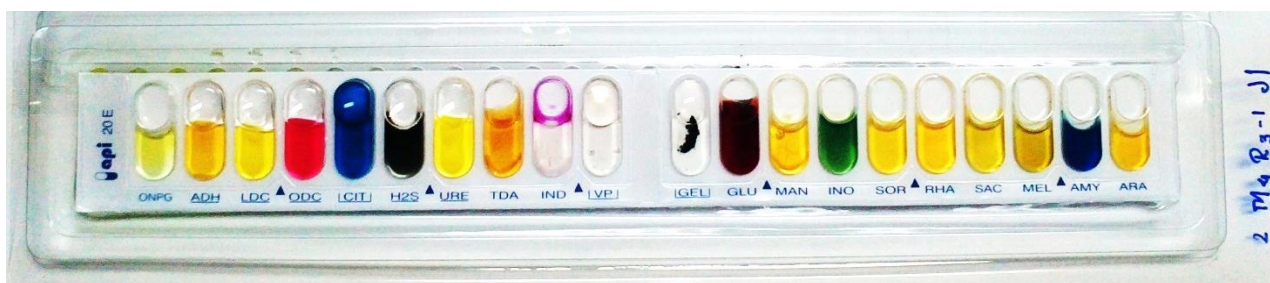


Figura 2. API20E. Tests bioquímicos estandarizados y miniaturizados.

Cuadro 6. Diferentes especies bacterianas encontradas de mayo 2012 a abril del 2013.

Mes / Estación	E1ER	E2AP	E3RA	E4RR	E5RS
MAY	ND	<i>Citrobacter freundii</i>	<i>Citrobacter braakii</i> <i>Escherichia coli</i>	<i>Citrobacter freundii</i> <i>Escherichia coli</i>	ND
JUN	<i>Enterobacter asburiae</i> <i>Morganella morgani</i>	<i>Citrobacter freundii</i> <i>Morganella morgani</i>	<i>Rautella terrigena</i>	<i>Klebsiella oxytoca</i>	<i>Rautella terrigena</i> <i>Serratia marcescens</i>
JUL	<i>Aeromonas sp</i>	ND	<i>Escherichia coli</i>	<i>Citrobacter sp</i>	<i>Aeromonas sp</i> <i>Escherichia coli</i>
AGO	<i>Pantea</i> <i>Aeromonas sp</i>	<i>sp</i> ND	<i>Klebsiella Oxytoca</i> <i>Rautella terrigena</i>	<i>Enterobacter amnigenus</i> <i>Pseudomonas sp</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>
SEP	<i>Enterobacter sakazakii.</i>	<i>Enterobacter sakazakii.</i> <i>Serratia odorifera sp.</i>	<i>Klebsiella pneumoniae ssp. pneumoniae.</i> <i>Klebsiella Oxytoca.</i>	<i>Enterobacter sakazakii.</i> <i>Salmonella sp.</i>	<i>Pantea spp.</i>
OCT	<i>Klebsiella pneumoniae ssp. pneumoniae.</i> <i>Salmonella choleraesuis</i>	<i>sp.</i> <i>Klebsiella Oxytoca</i>	<i>Enterobacter</i> <i>Aeromonas sp</i>	<i>sp</i> <i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>

*arizonae*

<b>NOV</b>	<i>Citrobacter freundii</i>	<i>Feromonas spp.</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i> spp. <i>Neumoniae.</i>	<i>Citrobacter freundii.</i>	<i>Citrobacter freundii.</i>
<b>DIC</b>	<i>Pseudomonas sp.</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>
<b>ENE</b>	<i>Citrobacter sp.</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i> ssp. <i>Pneumoniae.</i>	<i>Proteus mirabilis.</i>	<i>Pseudomonas aeruginoso.</i>	<i>Shigella sp.</i>
<b>FEB</b>	<i>Rautella sp.</i> <i>Klebsiella Oxytoca</i>	<i>Salmonella choleraesuis</i> ssp <i>arizonae.</i> <i>Citrobacter sp.</i>	<i>Proteus mirabilis.</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i> ssp. <i>Pneumonia.</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i> ssp. <i>Pneumonia.</i> <i>Pantoea sp.</i>
<b>MAR</b>	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A
<b>ABR</b>	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A

**E1RA= Estación 1 entrada del río Atoyac, E2AP= Estación 2 agua potable, E3RA= Estación 3 riego agrícola. E4RR= Estación 4 recreación en el río Atoyac, E5RS= Estación 5 recreación y salida del río Atoyac. ND=No detectado, E/A= en análisis.**

En este trabajo se llevó a cabo el estudio microbiológico del río Atoyac que atraviesa los municipios de Atoyatempan y Molcaxac, Puebla, para determinar los géneros y especies de Enterobacterias presentes, para establecer los posibles riesgos de la población humana de contraer infecciones. En estas localidades algunas de sus zonas agrícolas utilizan el río como sistema de riego para su siembra. Además, debido a que parte de la zona urbana se encuentra a un lado del río Atoyac, existe un contacto directo de los pobladores con el agua y un riesgo potencial de interaccionar con las bacterias. Los resultados obtenidos indican que un alto porcentaje de contaminación ya que se encontraron 17 diferentes especies en los sitios muestreados durante el año muestreado (Cuadro 6). Entre las especies de bacterias encontradas existen patógenas de humanos, comunes y oportunistas.

Con respecto a los riesgos que puede tener la población humana al exponerse al agua del río Atoyac en el tramo estudiado, si bien en todos los sitios y épocas del año hay contaminación fecal y bacterias patógenas oportunistas, se debe evitar el contacto directo con el agua.



## 5. ANEXOS

Anexo 1. Valores promedios de los parámetros físicos y químicos obtenidos en cada estación en la temporada de lluvia abarcando el mes de mayo a octubre del 2012.

M	Estación	T (°C)	O <sub>2</sub> disuelto mg/L <sup>-1</sup>	% de Saturación de O <sub>2</sub>	Cl mg/L <sup>-1</sup>	Dureza mg/L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub> mg/L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> mg/L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> mg/L <sup>-1</sup>	pH	Conductividad μS/cm	Velocidad de corriente (m/S)
My	E1ER	19	7.2	77.75	50	273	15	14.0	4.2	68.4	8	0.79	64
My	E2AP	22	4.6	52.69	90	350	38	1.0	25.0	75.6	7.5	0.82	
My	E3RA	20	4	44.05	50	430	50	40.0	0.0	30.2	7.3	2.20	50
My	E4RR	19	9.5	102.59	50	165	55	14.0	6.7	72.2	7.8	0.80	189
My	E5RS	20	9.5	104.63	50	165	55	14.5	20.3	61.2	7.8	0.80	97
Jn	E1ER	18	5.5	58.20	50	150	15	16.0	5.5	65.8	8.1	0.82	294
Jn	E2AP	21	10	112.36	100	480	16	0.1	15.0	73.2	7.8	1.20	
Jn	E3RA	18	2	21.16	50	240	10	40.5	0.0	50.3	8.2	2.5	160
Jn	E4RR	18	4.5	47.62	50	210	40	15.0	12.0	76.4	8.1	0.83	290
Jn	E5RS	18	5	52.91	50	270	50	15.0	10.5	70.2	8.2	0.83	231
Jl	E1ER	19	5.5	59.40	50	210	20	16.1	4.5	70.2	7.3	0.68	210
Jl	E2AP	20	5.5	60.57	50	321	35	0.1	14.5	75.2	8	1.06	
Jl	E3RA	19	0	0.00	50	360	60	40.9	0.0	66.0	6.8	2.44	140
Jl	E4RR	19	6	64.79	50	360	60	15.3	12.0	76.4	7.8	0.71	86
Jl	E5RS	18	4	42.33	50	360	60	15.0	10.5	70.2	7.9	0.71	147
A	E1ER	19	7.5	79.37	100	240	5	15.0	3.3	72.4	8.3	0.60	1008
A	E2AP	19	7.0	74.07	50	300	150	0.9	28.0	83.6	9.2	1.12	
A	E3RA	19	1.0	10.58	50	135	150	45.0	0.0	33.8	7.5	0.70	295
A	E4RR	19	5.0	52.91	50	180	5	14.0	6.7	72.2	8.5	0.60	884
A	E5RS	19	9.5	100.53	50	135	10	14.5	20.3	61.2	8.3	0.70	1380
S	E1ER	19	12.5	132.28	50	330	20	15.0	7.5	69.8	8.9	0.65	873
S	E2AP	19	9.5	100.53	50	210	15	0.1	14.5	75.2	9.5	1.24	
S	E3RA	19	3.0	31.75	50	150	45	40.9	0.0	66.0	7.8	0.68	230
S	E4RR	19	10.5	111.11	50	210	15	15.3	12.0	76.4	8.8	0.64	870
S	E5RS	19	9.5	100.53	50	165	10	15.0	10.5	70.2	8.5	0.72	920
O	E1ER	19	9.0	95.24	50	180	10	54.7	15.0	75.7	8.9	0.68	510
O	E2AP	19	8.0	84.66	50	435	15	0.5	20.0	110.7	7.5	1.23	
O	E3RA	19	0.0	0.00	50	420	125	70.0	3.0	50.6	8.0	0.70	480
O	E4RR	19	9.0	95.24	50	180	10	41.2	18.5	73.3	8.8	1.30	230
O	E5RS	19	7.0	74.07	50	180	10	35.0	14.0	77.3	8.8	0.65	535

\*\* ND: No hay dato. , EA: En análisis.

**Anexo 2. Valores promedios de los parámetros físicos y químicos obtenidos en cada estación en la temporada de seca abarcando el mes de noviembre del 2012 a abril 2013.**

Mes	Estación	T (°C)	O <sub>2</sub> disuelto mg/L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	% de Saturación de O <sub>2</sub>	Cl <sup>-</sup> mg/L <sup>-1</sup>	Dureza mg/L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub> mg/L-1	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/L-1	NO <sub>3</sub> mg/L-1	SO <sub>4</sub> mg/L-1	pH	Conductividad μS/cm	Velocidad de corriente (m/S)
Nv	E1ER	18	12.5	132.28	50	480	10	0.3	14.0	75.6	8.8	0.60	325
Nv	E2AP	18	11.0	116.40	100	375	25	0.1	26.0	90.4	8.0	1.20	
Nv	E3RA	18	0.0	0.00	650	285	10	75.0	0.0	46.0	8.0	1.30	110
Nv	E4RR	18	10.5	111.11	50	270	10	4.7	39.0	69.2	8.9	0.65	310
Nv	E5RS	18	10.5	111.11	50	180	10	4.3	18.5	75.2	8.8	0.70	330
D	E1ER	17	10.5	111.11	50	345	10	0.5	EA	EA	8.3	0.70	225
D	E2AP	17	11.0	116.40	50	345	20	0.3	EA	EA	8.1	1.10	
D	E3RA	17	0.0	0.00	100	540	10	70.0	EA	EA	8.3	1.30	100
D	E4RR	17	10.5	111.11	50	315	10	4.5	EA	EA	8.0	0.75	210
D	E5RS	17	11.0	116.40	50	345	10	4.30	EA	EA	8.3	0.75	230
E	E1ER	17	16.5	174.60	50	345	10	5.00	EA	EA	8.3	1.40	150
E	E2AP	17	15.5	164.02	100	345	20	0.20	EA	EA	8.1	1.10	
E	E3RA	17	0.0	0.00	800	540	140	69.00	EA	EA	8.0	0.68	110
E	E4RR	17	17.5	185.19	50	315	10	5.20	EA	EA	8.3	0.70	110
E	E5RS	17	16.0	169.31	50	330	10	5.10	EA	EA	8.3	0.90	150
F	E1ER	18	13.0	137.57	100	330	10	0.40	EA	EA	8.5	0.60	115
F	E2AP	18	5.0	52.91	100	480	30	5.20	EA	EA	7.5	0.80	
F	E3RA	18	0.0	0.00	1050	510	130	0.60	EA	EA	7.9	0.50	50
F	E4RR	18	15.0	158.73	100	360	15	72.00	EA	EA	8.2	0.90	110
F	E5RS	18	18.0	190.48	100	345	10	6.00	EA	EA	8.2	0.60	120
M	E1ER	18	18.0	190.48	100	285	15	5.80	EA	EA	8.4	0.75	120
M	E2AP	18	5.0	52.91	100	570	30	0.60	EA	EA	8.5	0.90	
M	E3RA	18	0.0	0.00	900	540	120	72.00	EA	EA	8.0	0.55	50
M	E4RR	18	18.0	190.48	50	300	10	6.00	EA	EA	8.3	0.70	115
M	E5RS	18	19.0	201.06	100	270	10	6.00	EA	EA	8.4	0.72	120
A	E1ER	19	19.0	201.06	100	300	10	6.00	EA	EA	8.4	0.80	110
A	E2AP	19	5.0	52.91	100	540	50	0.70	EA	EA	8.2	0.90	
A	E3RA	19	0.0	0.00	800	450	100	75.00	EA	EA	8.0	0.60	50
A	E4RR	19	19.0	201.06	100	360	10	7.00	EA	EA	8.4	0.75	120
A	E5RS	19	20.0	211.64	100	390	10	6.00	EA	EA	8.3	0.75	120

\*\* ND: No hay dato. , EA: En análisis.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo brindado por la Vicerrectoría de Investigaciones y Estudios de Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla para la realización del proyecto.

## 7. REFERENCIAS

1. Ángeles Elizabeth. (2010). Caracterización, rendimiento de maíces Nativos y descripción de las unidades de Producción en el municipio de Molcaxac, Puebla.
2. Alvarez-Jesús A, Rubiños-Panta E, Gavi- Reyes F, Alarcón-Cabañero J.J., Hernández Acosta E., Ramírez-Ayala C, Mejía-Saenz E, Pedrero-Salcedo F., Nicolas-Nicolas E. y Salazar-Sosa E. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y predicción. *Revista Internacional de Botanica Experimental*. 75: 71-83.
3. Barrera-Escorcía G., Wongchang I., Sobrinofigueroa A.S, Guzmán García X., Hernández Galindo F. y Saavedra Villeda F. Estudio preliminar de contaminación bacteriológica en la laguna Pueblo Viejo, Veracruz, México. 1988. Laboratorio de Contaminación y Bioensayos, Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. Laboratorio de Contaminación Marina, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, D.F. *Salud Publica Mexico, Rev. Int. Contam. Ambient.* 14 (2) 6368.
4. Gobierno del Estado de Puebla, Secretaria de Sustentabilidad Ambiental y Ordenamiento Territorial (2011). Estudio previo justificativo para la declaratoria de la reserva estatal “sierra del tentzo”.
5. Gutierrez Jose A.,(2006) Análisis bacteriológico de los canales de la isla de Uranden, en el lago de Pátzcuaro Mich., tomando como indicador bacterias coliformes y no coliformes de la familia Enterobacteriaceae.
6. J. Rodier (1990). Análisis de las Aguas, Omega.
7. NMX-AA-042-1987 Calidad Del Agua - Determinación del número más probable (NMP) de Coliformes Totales, Coliformes Fecales (Termotolerantes) y Escherichia Coli.
8. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-112-SSA1-1994- Bienes y servicios determinación de bacterias coliformes. Técnica del número mas probable.
9. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilizacion".
10. NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
11. Periódico Oficial del Estado de Puebla, Decreto del Ejecutivo del Estado. (2011) Declaración del Área Natural Protegida de Jurisdicción Estatal, en su modalidad de Reserva Estatal “Sierra del Tentzo”.
12. Ramírez E., Robles E., Sainz M.G, Ayala R. y Campoy E. 2009. Calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos, México. Facultad de Estudios Superiores, Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. *Rev. Internacional Contaminación Ambiental*, 25 (4) 247-255
13. Rodríguez Santiago H. y Botello A.V. 1987. Contaminación enterobacterina en la red de agua potable y algunos sistemas acuaticos del sureste de México. Laboratorio de Contaminación Marina, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Coyoacan, Mexico DF. *Rev. Contaminación Ambiental* 3. 37-53.
14. Sánchez-Pérez H.J., Vargas-Morales M.G. y Méndez-Sánchez J.D. 2000. Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas. *Salud Pública México*. 42:397-406.
15. Sandoval Villasana, Ana María, Pulido-Flores, Griselda, MONKS, Scott et al. Evaluación fisicoquímica, microbiológica y toxicológica de la degradación ambiental del río Atoyac, México. INCI, dic. 2009, vol.34, no.12, p.880-887. ISSN 0378-1844.



# MODELADO HIDROLÓGICO EN UNA CUENCA URBANA: ANÁLISIS DEL ESCURRIMIENTO BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE CAMBIO Y USO DE SUELO.

Sergio ESQUIVEL PUENTE<sup>a</sup>, Víctor Hugo GUERRA COBIÁN<sup>b</sup>, Adrián Leonardo FERRIÑO FIERRO<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Centro Internacional del Agua-Instituto de Ingeniería Civil UANL  
email: [sergio.esquivelp@uanl.mx](mailto:sergio.esquivelp@uanl.mx),

<sup>b</sup> Centro Internacional del Agua - Instituto de Ingeniería Civil UANL

<sup>c</sup> Departamento de Hidráulica - Instituto de Ingeniería Civil UANL

## RESUMEN

Se analizó el escurrimiento asociado a eventos extremos de precipitación, relacionándolo con el cambio y uso del suelo, aplicando el modelo hidrológico de parámetros distribuidos CEQUeau sobre la cuenca urbana del río La Silla, ubicada en la Zona Metropolitana de Monterrey, N. L. Este modelo hidrológico utiliza como datos de entrada los parámetros fisiográficos de la cuenca, obtenidos mediante el uso de los SIG; además de los datos hidroclimatológicos disponibles en el Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS), Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III), e información actualizada proporcionada por CONAGUA. El objetivo consistió en analizar distintos escenarios de vegetación basados en imágenes satelitales históricas, incluyendo los años de ocurrencia de los huracanes Emily (2005) y Alex (2010), así como también la proyección de un escenario futuro al límite del Parque Nacional "Cumbres de Monterrey".

La simulación hidrológica de la cuenca se realizó con los caudales medios diarios para el periodo de 1973 a 1994, calibrando para el periodo de 1973 a 1988, y validando para el periodo de 1989 a 1994. Posteriormente se simularon los diferentes escenarios de cobertura de suelo para cada año en estudio.

Se compararon los resultados obtenidos y se concluyó que el aumento de la impermeabilización de la cuenca del río La Silla, asociada al proceso de urbanización, muestra una relación directa con el aumento del caudal pico, dejando evidencia de que no existe amortiguamiento.

**Palabras clave:** Modelación hidrológica, SIG, CEQUeau, cambio y uso de suelo.

## 1 INTRODUCCIÓN

A través del tiempo, las cuencas urbanas de México como en otras partes del mundo, han estado caracterizadas por un aumento en la impermeabilización y reducción de la infiltración debido al cambio de uso del suelo, como consecuencia de la construcción de edificios, pavimentación de vialidades y otros, los cuales producen un impacto sobre las condiciones de escurrimiento.

El Estado de Nuevo León, a pesar de que no cuenta con litorales, se ha visto afectado por eventos meteorológicos extremos, como por ejemplo: el huracán Beulah en septiembre de 1967, Gilberto en septiembre de 1988, Emily en julio del 2005 y Alex en junio del 2010. Las condiciones topográficas que existen en el área Metropolitana de Monterrey permiten que se convierta en una zona de alto riesgo, ya que es susceptible de ser afectado por inundaciones tanto pluviales como fluviales, además de provocar con la lluvia gran cantidad de accidentes viales. [Protección Civil N. L., 2010].

En este sentido, el cambio de uso de suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio global, alterando procesos y ciclos, lo cual se vuelve trascendental si se considera que es a través de

estos cambios donde se materializa la relación hombre y el medio ambiente. Además, los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, debido a la conversión de la cobertura del terreno, así como a la degradación e intensificación del uso del suelo [Lambin y otros, 1999].

Cuando el suelo se encuentra bajo un constante proceso de crecimiento urbano, por ejemplo la cuenca del Río La Silla en la ciudad de Monterrey, México, la velocidad y el volumen del escurrimiento aumenta, arrasando gran cantidad de material hacia las partes bajas de la misma, ocasionando una respuesta más agresiva e inmediata ante las lluvias, ya que el tiempo de retención de agua disminuye y el caudal pico se incrementa [Rubio-Vega, 2009].

En los últimos años, se ha desarrollado en hidrología una técnica conocida como modelación hidrológica, la cual trata de reproducir mediante un modelo principalmente matemático, el comportamiento de los procesos hidrológicos en un área determinada. La modelación hidrológica abarca diversos campos, tales como: control de calidad del agua, sistema de alarma contra inundaciones, transporte y depósito de sedimentos, erosión de suelos, etc. Además, los modelos hidrológicos se convierten en datos de entrada para la modelación hidráulica, como los que se utilizan en la rectificación y rehabilitación de cauces [Argüello, 1992].

Muchos autores han tratado de estudiar, analizar y cuantificar este fenómeno lluvia-escurrimiento, asociado a cambios de uso del suelo utilizando diferentes metodologías. Por ejemplo, Juárez-Méndez y otros (2010), analizaron el cambio de uso del suelo bajo los escenarios de 1990 y 2005, y su efecto en los escurrimientos de la cuenca del Río Huehuetán, localizada en la costa de Chiapas, México, utilizando en ambos casos el mismo evento de lluvia histórico del huracán Stán (octubre del 2005), y empleando el modelo HEC-HMS. El análisis del cambio de uso del suelo se llevó a cabo mediante técnicas de interpretación de imágenes de satélite LANDSAT TM para 1990 y SPOT 5 para 2005 y mediante sobreposición cartográfica en el Sistema de Información Geográfica Arc View GIS 3.2. Los resultados encontrados mostraron que el escurrimiento máximo para 1990 fue 2566.4 m<sup>3</sup>, y para el 2005 fue 2544 m<sup>3</sup> con una disminución de 0.87%, lo cual indica que no existieron diferencias significativas en ambos escenarios. De esta manera, se concluyó que las inundaciones en la cuenca del Río Huehuetán se debieron al evento meteorológico y no al cambio de uso del suelo.

En esta investigación, se utilizará el modelo hidrológico CEQUEAU, con el fin de analizar el escurrimiento bajo diferentes escenarios de cambio y uso de suelo en la cuenca urbana del Río La Silla, en la Zona Metropolitana de Monterrey, N. L.

## 2 JUSTIFICACIÓN

Es necesario el uso y aplicación de tecnologías que nos permitan evaluar el impacto de los escurrimientos ocasionados por eventos de precipitación extremos en una cuenca urbana. En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en conjunto con la modelación hidrológica distribuida son herramientas útiles que nos permitirán, además de modelar los cambios de cobertura y usos del suelo, estudiar el impacto que estos cambios tienen sobre los procesos hidrológicos dentro de la cuenca en estudio. Finalmente, se tendrá a disposición información confiable que facilite la toma de decisiones para el manejo integral de la cuenca, así como la protección de centros de población en zonas bajas que se pueden ver afectados con el aumento del volumen de agua del cauce principal.

### 3 OBJETIVO

Analizar el escurrimiento bajo diferentes escenarios de cambio y uso de suelo en la cuenca urbana del Río La Silla, en Nuevo León.

### 4 METODOLOGÍA

#### 4.1 ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del Río la Silla se localiza dentro de la Zona Metropolitana de Monterrey, México. Es una subcuenca del Río Santa Catarina, la cual pertenece a la cuenca del Río San Juan, dentro de la Región Hidrológica 24, denominada “Río Bravo” (Figura 1)



**Figura 1.** Región Hidrológica 24 “Río Bravo” (RH-24).

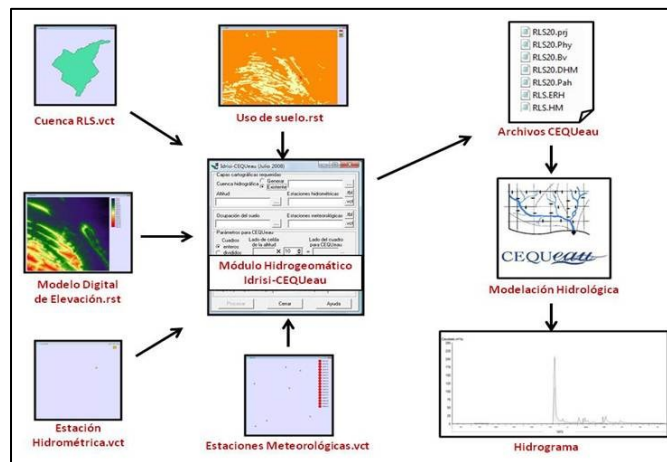
El río de La Silla nace en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental a elevaciones del orden de los 2,350 m.s.n.m., a unos 15 km al sur de la ciudad de Monterrey (Figura 2). En su parte alta se le conoce con los nombres de arroyo La Estanzuela o Calabozo; desciende a través de terreno de topografía accidentada con dirección al Noreste donde pasa la población La Estanzuela, en ésta cambia su trayectoria hacia el Nor-Noreste para recibir por la margen izquierda las aportaciones del arroyo Elizondo y aguas abajo las del arroyo Seco. A la altura del Parque La Pastora, cambia bruscamente su curso hacia el Este-Noreste, atraviesa la carretera federal No. 40 y aguas abajo de este cruce fluye con dirección franca al Este, donde pasa por la colonia Los Lermas sitio donde se encontraba instalada la estación hidrométrica del mismo nombre; 7 km aguas abajo descarga sus aguas al río Santa Catarina por la margen derecha a la altura del poblado Las Adjuntas.



**Figura 2.** Cauce del Río la Silla

## 4.2 MODELACIÓN HIDROLÓGICA CEQUEAU

Los datos requeridos por el modelo distribuido CEQUEau se obtienen de forma automatizada empleando un módulo hidrogeomático que trabaja dentro de los SIG. La figura 3 muestra la secuencia para obtener los archivos CEQUEau requeridos para la modelación hidrológica.



**Figura 3.** Secuencia de obtención de archivos necesarios para la modelación hidrológica empleando el modelo CEQUEau.

### 4.2.1 Módulo hidrogeomático Idrisi-CEQUEau

El módulo hidrogeomático Idrisi-CEQUEau es utilizado dentro del SIG Idrisi Andes. El objetivo de aplicación de esta herramienta es la obtención de la información requerida por CEQUEau de forma rápida y eficiente, reduciendo los errores humanos y la pérdida de tiempo al generar la información manualmente.

En la aplicación del módulo hidrogeomático se utilizó el Modelo Numérico de Altitud (MNA) de la cuenca en estudio, la capa vectorial de la red principal, la capa vectorial de las estaciones meteorológicas, la capa vectorial de la estación hidrométrica, así como la imagen raster de la ocupación de suelo reclasificada en el formato requerido por el modelo CEQUEau.



Se obtuvo la información fisiográfica (ocupación del suelo, altitudes y sentidos del flujo), así como un archivo de proyecto para el modelo CEQUEau con extensión \*.PRJ, que permite precisar la ruta y el nombre de todos los archivos a procesar por el modelo, como el archivo de datos fisiográficos (\*.PHY), el archivo de parámetros de cuenca (\*.BV), el archivo de datos hidrometeorológicos (\*.DHM), y el archivo de parámetros del modelo (\*.PAH).

#### **4.2.2 Aplicación del modelo CEQUEau**

Dentro del modelo hidrológico CEQUEau, se abrió el archivo con extensión \*.PRJ generado por el módulo hidrogeomático Idrisi-CEQUEau, el cual contiene la ruta y el nombre de todos los archivos a procesar (\*.PHY, \*.VB, \*.DHM, y \*.PAH).

Para realizar las simulaciones dentro del modelo, el primer paso consistió en la preparación de la información fisiográfica de la cuenca, utilizando el módulo de preparación de archivos fisiográficos con el que cuenta el modelo.

El siguiente paso fue realizar la preparación de la información hidrometeorológica (\*.DHM), la cual generó un archivo con extensión \*.HMC, donde se archivan los resultados generales para ser utilizados por CEQUEau.

#### **4.2.3 Calibración y validación del modelo hidrológico CEQUEau**

La simulación hidrológica de la cuenca del río La Silla hasta la estación hidrométrica Los Lermas, se realizó con los caudales medios diarios para el periodo de 1973 a 1994 (21 años), utilizando para la calibración el periodo de 1973 a 1988, y para la validación el periodo de 1989 a 1994. El proceso de calibración se llevó a cabo mediante la técnica de prueba y error, y el empleo de la herramienta de optimización de parámetros con que cuenta el modelo. La técnica de prueba y error consiste en ir variando los parámetros del modelo hasta que los caudales observados y simulados sean lo más similar posible.

#### **4.2.4 Obtención de los porcentajes de vegetación**

Como primer paso, se obtuvo la información georreferenciada histórica y actual de la zona en estudio, para realizar la comparación de expansión urbana. Se exportó la capa vectorial de la malla de cuadros que discretiza a la cuenca generada por el módulo hidrogeomático Idrisi-Cequeau, así como el perímetro de la cuenca, de tal forma que puedan ser estos archivos ejecutados en el software AutoCAD Civil 3D 2010. Utilizando la información georreferenciada (imágenes satelitales), en conjunto con la capa vectorial exportada del SIG Idrisi de la malla de cuadros y el perímetro de la cuenca, se analizó cuadro por cuadro el porcentaje de vegetación dentro del software AutoCAD Civil 3D 2010, utilizando la función polilínea y el comando área para marcar zonas de vegetación, así como para conocer el valor de superficie que encierra esa polilínea, y relacionándolo con el área total, se obtuvo el porcentaje de vegetación por cuadro. Finalmente, se logró obtener la información de cobertura vegetal necesaria de cada cuadro, la cual nos servirá para realizar las simulaciones del ciclo hidrológico en el modelo CEQUEau.

#### **4.2.5 Simulación de escenarios**

Dentro del modelo CEQUeau, y ya que se ha realizado la calibración y validación de los parámetros que gobiernan el ciclo hidrológico, se abrió el archivo de parámetros fisiográficos en el cual se colocan los porcentajes de vegetación.

El siguiente paso teniendo cargados los porcentajes de vegetación, es la preparación de los archivos fisiográficos e hidrometeorológicos, y una vez aceptada esta preparación, se abre el archivo de parámetros de modelo para ajustar el periodo de simulación deseado, por ejemplo, teniendo cargados los porcentajes de vegetación del año 1995, el primer periodo de simulación sería desde el primer día de enero, hasta el último día de diciembre (19950101 – 19951231).

Posteriormente, se realiza la simulación hidrológica y siendo aceptada por el modelo, se revisan los resultados obtenidos en la simulación, consultando la sección de Caudales/Niveles Temporales, dentro del menú Gráficos, en el cual se muestra el hidrograma de escurrimiento producto de la simulación, indicando el caudal medio observado y calculado, el coeficiente de Nash, la lámina de escurrimiento, así como el caudal pico.

Con los mismos datos de vegetación del año 1995 cargados en el archivo de parámetros fisiográficos, se modifica el periodo de simulación para los años de los que se tiene información de vegetación, esto es, desde el primer día de enero, hasta el último día de diciembre del año 1999, así como para el año 2005 y el 2010, siguiendo los mismos pasos de la preparación de archivos fisiográficos e hidrometeorológicos y se realiza la simulación para obtener los resultados y realizar comparaciones.

De igual manera, se realiza la misma metodología con los datos de vegetación de los años 1999, 2005 y 2010, modificando para cada uno de estos escenarios de cobertura vegetal, los periodos de simulación (1995, 1999, 2005 y 2010).

Por otra parte, se consideró un escenario futuro denominado PNCM. Éstas siglas corresponden a la zona del "Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM)", que fue desarrollado bajo el decreto hecho en 1939 el cual declara como área natural protegida, con el carácter de parque nacional, la región conocida con el nombre de Cumbres de Monterrey, ubicada en los municipios de Allende, García, Montemorelos, Monterrey, Rayones, Santa Catarina, Santiago y San Pedro Garza García, en el Estado de Nuevo León. De tal manera, que se consideró la urbanización hasta ese límite, dentro de la cuenca estudiada.

## **5 RESULTADOS**

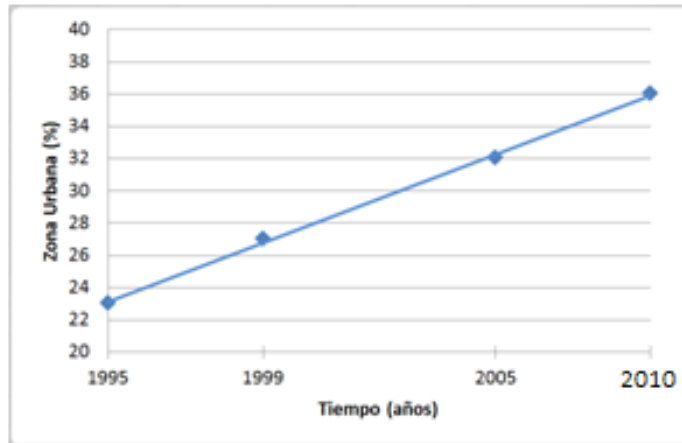
Las imágenes satelitales de la zona de estudio se obtuvieron de registros históricos del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI), así como del sitio web de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), las cuales cuentan con resolución adecuada que permite poder realizar el análisis de las zonas urbanas y de vegetación dentro de la cuenca del río La Silla.

La búsqueda de esta información nos dio como resultado la obtención de imágenes satelitales de los años 1995, 1999, 2005 y 2010, las cuales fueron satisfactorias para realizar el análisis dentro de la zona en estudio.

Los porcentajes de cada cuadro, identificados con las mismas coordenadas que utiliza el modelo CEQUeau, fueron obtenidos de cada uno de los años de los cuales se tiene la imagen histórica.

En 1995, el área que ocupaba la zona urbana era de 36 km<sup>2</sup>, con respecto a 154.41 km<sup>2</sup> de área total de la cuenca, lo que representa un valor de 23% de zona impermeable. Así mismo, en el año de 1999 la zona urbana se

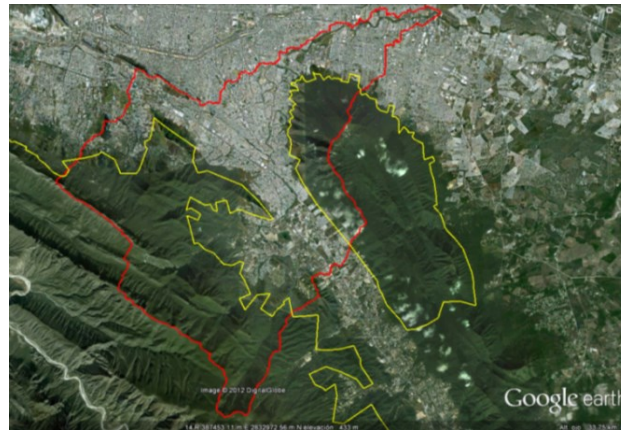
incremento de 23% en 1995, a 27% del área total de la cuenca. En el año 2005, el área de vegetación siguió disminuyendo con respecto a la zona urbana, la cual alcanzó un 32% del total de la cuenca, siguiendo una tendencia de incremento desde el año 1995. Finalmente, en el año 2010, la zona urbana ocupa un 36% del total de la cuenca. Estos resultados muestran el incremento de la zona urbana en un 13% en el periodo de 1995 a 2010 dentro de la cuenca del río La Silla (Figura 4), la cual pertenece a la Zona Metropolitana de Monterrey, N. L.



**Figura 4.** Incremento de la zona urbana de la cuenca del río La Silla a través del periodo analizado

## 5.1 ESCENARIO FUTURO

El escenario futuro PNCM, catalogado el más crítico, simuló la cobertura vegetal al 100% dentro de los límites del Parque Nacional Cumbres de Monterrey (Figura 5), y fuera de este límite, se consideró la zona como urbanizada, esto es, 0% de cobertura vegetal.



**Figura 5.** Límites del Parque Nacional Cumbres de Monterrey (línea amarilla), en la zona de estudio.

## 5.2 SIMULACIÓN DE COBERTURA DE VEGETACIÓN EN EL MODELO HIDROLÓGICO CEQUEAU

Los resultados obtenidos producto de las simulaciones de cobertura de vegetación se ordenaron en base a escenarios (Tabla 1). Por ejemplo, para el periodo de simulación (lluvias) de 1995, se tienen los resultados de las

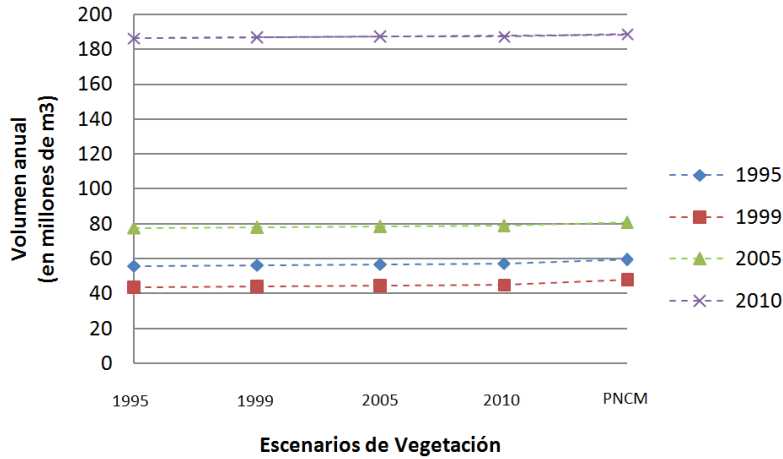
diferentes coberturas vegetales de los años 1995, 1999, 2005 y 2010, así como también del escenario futuro PNCM.

**Tabla 1.** Años de simulación y sus diferentes escenarios de cobertura vegetal

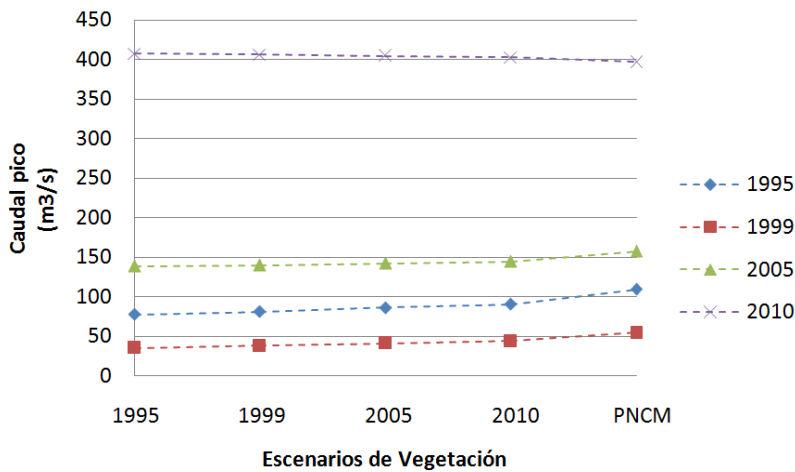
Año de simulación	Escenarios de cobertura vegetal	Volumen anual (millones de m <sup>3</sup> , hm)	Qpico (m <sup>3</sup> /s)
1995	1995	55.84	77.718
	1999	56.27	81.29
	2005	56.85	86.3
	2010	57.32	90.558
	PNCM	59.6	109.244
1999	1995	43.4	35.427
	1999	43.87	38.046
	2005	44.53	41.32
	2010	45.09	43.93
	PNCM	47.68	54.458
2005	1995	77.55	138.617
	1999	77.91	139.96
	2005	78.4	142.217
	2010	78.79	144.44
	PNCM	80.75	157.525
2010	1995	186.48	407.689
	1999	186.77	406.541
	2005	187.19	404.644
	2010	187.5	402.934
	PNCM	188.84	396.844

De esta manera, los resultados de los volúmenes anuales escurridos y caudales pico de cada periodo de simulación (1995, 1999, 2005, 2010), y su relación con los distintos escenarios de vegetación (1995, 1999, 2005, 2010 y PNCM), son presentados en las figuras 6 y 7, respectivamente, las cuales también indican el porcentaje de incremento del volumen anual escurrido y caudal pico de cada escenario de vegetación, con respecto al valor del escenario 1995 (volumen anual escurrido y caudal pico inicial).

Los resultados obtenidos muestran un incremento tanto en el volumen anual escurrido y en el caudal pico, con respecto a la disminución de la cobertura vegetal a través del tiempo. En efecto, en 1995 hubo una cobertura vegetal del 77%, la cual fue disminuyendo al paso de los años, llegando a valores de 73%, 68%, 64% y 48% para los años 1999, 2005, 2010, y el escenario futuro-crítico del Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM), respectivamente.



**Figura 6.** Comparativa de los escenarios de vegetación y los volúmenes de escurrimiento, bajo diferentes periodos de simulación.



**Figura 7.** Comparativa de los escenarios de vegetación y el caudal pico, bajo diferentes periodos de simulación

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se llevó a cabo la evaluación del impacto del escurrimiento generado por eventos de precipitación extremos aplicando el modelo hidrológico de parámetros distribuidos CEQUEau hasta la estación hidrométrica Los Lermas en la cuenca del río La Silla, tomando en cuenta el cambio y uso del suelo.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica, en particular el SIG Idrisi Andes, ayudó a obtener y manipular con éxito la información en formato digital necesaria, como por ejemplo el Modelo Digital de Elevación en formato raster, la capa vectorial de las estaciones hidrometeorológicas, así como la capa raster de la ocupación del suelo.

Se generaron las bases de geodatos, así como la aplicación del módulo hidrogeomático SIG Idrisi-CEQUEau que permitió la extracción de la información requerida por el modelo hidrológico en forma precisa, ahorrando tiempo y reduciendo al máximo el error humano.

Se logró preparar, calibrar y validar el modelo hidrológico CEQUEau hasta la estación hidrométrica Los Lermas, concluyéndose que los valores obtenidos son aceptables para que se pueda realizar la modelación hidrológica en CEQUEau.

Se analizó la información de ocupación de suelo por medio de imágenes satelitales, obteniendo exitosamente los distintos porcentajes de cobertura vegetal de los años estudiados (1995, 1999, 2005, 2010, y PNCM).

Se compararon los resultados obtenidos y se concluyó que el aumento de la impermeabilización de la cuenca del río La Silla, asociada al proceso de urbanización, muestra una relación directa con el aumento del caudal pico, dejando evidencia de que no existe amortiguamiento.

Los resultados obtenidos en la investigación son de gran utilidad para conocer la magnitud del impacto de los eventos extremos de precipitación cuando se presentan en la cuenca del río La Silla debido al cambio y uso de suelo, específicamente de zona de vegetación a zona urbana, la cual inevitablemente sigue en constante crecimiento, afectando a la población que se localiza principalmente en los márgenes del cauce del río La Silla, tomando en cuenta también la falta de planeación y el incumplimiento de la ley de los asentamientos irregulares que invaden la zona federal.

Debido a esto, se recomienda realizar una delimitación detallada de la zona federal del cauce principal del río La Silla, con el objetivo de evitar y/o reubicar la invasión por asentamientos humanos, instalaciones eléctricas, agua potable y principalmente del drenaje sanitario, ya que gran parte de los deslaves, socavación localizada en puentes, vados y alcantarillas, así como la destrucción de infraestructura de vialidades, áreas recreativas, casas habitación, etc., han sido consecuencia de la falta de planeación y el permiso por parte de los gobiernos municipales. Así mismo, llevar a cabo estudios constructivos de infraestructura de protección a núcleos de población cercanos al cauce principal, que se han visto afectados por la ocurrencia de estos fenómenos extraordinarios de precipitación, con la finalidad de garantizar la seguridad de los habitantes que residen en esas zonas.

## 7 AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia que me ha apoyado en todo momento, así como también al Dr. Víctor Hugo Guerra Cobián y al MC Adrián Leonardo Ferriño Fierro, por orientarme y compartir sus conocimientos para poder realizar esta investigación.

## 7 REFERENCIAS

- Arguello, G. (1992). *“Modelación hidrológica continua en tiempo real de la cuenca del Río Virilla. Costa Rica”*. Tesis Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 127 pp.
- Juárez-Méndez, J., Ibáñez-Castillo, L., Pérez-Nieto, S., Arellano-Monterrosas, J. (2009). *“Uso del suelo y su efecto sobre los escurrimientos en la cuenca del Río Huehuetán”*. Ingeniería Agrícola y Biosistemas, Vol. 1, No. 2, pp. 69-76.
- Lambin, E. F., N. Baulies, G. Bockstael, T. Fisher, R. Krug, E. F. Lemmans, R. R. Moran, Y. Rindfuss, D. Sato, B. L. Skole, Turner II and C. Vogel(1999). *“Land use and land cover change implementation strategy,”*. IGBP report 48. IHDP, report 10, Estocolmo.
- Protección Civil N. L. (2010). *“Plan de contingencias temporada de ciclones tropicales 2010.”*. Gobierno del Estado de Nuevo León. Secretaría General de Gobierno, 55 pp.
- Ruberto, A., Depettris, C., Pilar, J., Prieto, A., Gabazza, S., Zárate, M., (2006). *“Impacto hidrológico por incremento de las áreas impermeables en cuencas urbanas, Subcuenca Cisterna, Resistencia, Chalco.”*. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2006. Resumen T-054.
- Rubio-Vega, H. F., (2009). *“La influencia de la cubierta boscosa en la severidad de respuesta de las cuencas ante la precipitación”*. III Seminario Taller de la Red Mexicana de Ciudades hacia la Sustentabilidad Xalapa. Xalapa, Veracruz, México.

# REDISTRIBUCIÓN DE ESCORRENTÍA Y SEDIMENTO EN LADERAS DE PAISAJES SEMI-ÁRIDOS USANDO UN MODELO ESPACIALMENTE EXPLÍCITO

Carlos MUÑOZ-ROBLES<sup>ac\*</sup>, Matthew TIGHE<sup>b</sup>, Nick REID<sup>b</sup>, Paul FRAZIER<sup>c</sup>, Sue V. BRIGGS<sup>d</sup> and Brian WILSON<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Investigación de Zonas Desérticas y Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades, UASLP, Altair # 200 Col. del Llano, San Luis Potosí [carlos.munoz@uaslp.mx](mailto:carlos.munoz@uaslp.mx)

<sup>b</sup> School of Environmental and Rural Science, University of New England, Armidale, NSW, Australia

<sup>c</sup> Eco Logical Australia, Armidale, NSW, Australia

<sup>d</sup> Institute for Applied Ecology, University of Canberra, Canberra, Australia

## RESUMEN

El manejo de vegetación leñosa y pastizales para reducir la escorrentía y la erosión de suelo es esencial en regiones semi-áridas. Sin embargo, el estudio de las relaciones e interacciones entre la vegetación y los procesos hidrológicos superficiales es complicado debido a que los experimentos en campo tienen un alto costo y requieren un periodo de tiempo suficientemente amplio para obtener resultados confiables. Una alternativa a este problema es realizar mediciones en una escala detallada (e. g. 1-m<sup>2</sup>) y posteriormente extenderlas a una escala más generalizada que provea información sobre escorrentía y erosión relevante para el manejo a nivel local (e. g. ladera, microcuenca). En este estudio, la escorrentía y la producción de sedimento se modelaron en dos laderas, una con vegetación leñosa (proliferación de plantas leñosas) y otra con pastizal en el sureste semi-árido de Australia. Se utilizó un modelo espacialmente explícito que integró datos obtenidos con simulación de lluvia (parcelas de 1-m<sup>2</sup>), un modelo digital del terreno y la distribución espacial de la cobertura superficial del suelo obtenida de imágenes de satélite de alta resolución. La escorrentía y la producción de sedimento en la ladera con vegetación leñosa fueron menores que en el pastizal en los dos años de estudio. La escorrentía y la producción de sedimento fueron similares en la ladera con vegetación leñosa en los dos años consecutivos; sin embargo, fueron menores en la ladera con pastizal en el segundo año como resultado del establecimiento de una obra de conservación de suelo y agua mediante bancos a contorno. La modelación espacial permitió describir las interacciones eco-hidrológicas superficiales en una escala detallada con base en datos espaciales de alta resolución y en experimentos de simulación de lluvia. Este tipo de modelos pueden ser utilizados para explorar la escorrentía y la erosión bajo diferentes tipos de manejo de agostaderos en zonas áridas y semi-áridas.

**Palabras clave:** *Bancos a contorno, eco-hidrología, Quickbird, retención de recursos, simulación de lluvia*

## 1 INTRODUCCIÓN

La escorrentía hortoniana es el principal mecanismo de generación de escorrentía en paisajes semi-áridos (Selby, 1993), y ocurre una vez que la intensidad de la lluvia supera la tasa de infiltración del suelo (Horton, 1933). Su distribución está controlada principalmente por la distribución espacial de las características de la superficie del suelo como la rugosidad y la cobertura superficial del suelo (Mueller et al., 2007). La cobertura vegetal leñosa y la cobertura superficial del suelo como vegetación herbácea, hojarasca, costra biológica y fragmentos rocosos determinan el estado de la superficie del suelo, su distribución espacial y la resultante infiltración (Greene et al., 2001; Michaelides et al., 2009).

Los paisajes semi-áridos se caracterizan por una distribución heterogénea de la vegetación y la cobertura superficial del suelo, que está organizada en mosaicos de parches formados por plantas individuales o grupos de

plantas inmersos en una matriz de baja cobertura vegetal o inter-parches (Montaña et al., 2001). Esta configuración de parches e inter-parches influye directamente en la partición de la lluvia en infiltración y escorrentía, y la producción de sedimento (Puigdefábregas, 2005; Bartley et al., 2006). Debido a que los inter-parches generalmente tienen tasas de infiltración bajas debido al encostramiento estructural y baja cobertura vegetal, actúan como zonas de producción (fuente) de escorrentía y sedimento. Por su parte, los parches con vegetación poseen tasas de infiltración alta, mayor porosidad y mayor estabilidad de los agregados que los inter-parches, y pueden obstruir el flujo superficial y funcionar como áreas de captura (sumidero) de escorrentía, sedimentos y nutrientes producidos por las zonas fuente (Ludwig and Tongway, 1995; Greene et al., 2001). La cobertura superficial del suelo puede ser un indicador de la retención de recursos (e. g. agua, sedimentos, nutrientes, semillas) que mejora la productividad del ecosistema y su funcionalidad (Sala and Aguiar, 1995; Ludwig et al., 2005), y puede ser usada como un indicador del proceso de escorrentía (Cammeraat, 2004).

La integración de las interacciones hidrológicas entre parches e inter-parches para describir la redistribución de flujo de agua en áreas extensas es un factor importante para predecir y manejar la retención de recursos en sistemas semi-áridos (Puigdefábregas and Sanchez, 1996; Ludwig et al., 2002). Sin embargo, generalizar las respuestas hidrológicas y de erosión medidas a nivel de parche (i. e.  $\sim 1 \text{ m}^2$ ) a una escala menor (e. g. ladera, micro-cuenca) ha recibido poca atención en estudios hidrológicos (Beeson et al., 2001). La heterogeneidad espacial de los procesos hidrológicos en zonas semi-áridas, influidos a su vez por la distribución espacial de parches y la longitud y conectividad de áreas productoras de escorrentía complica la extrapolación de datos en las escalas mencionadas (Cammeraat, 2004; Maneta et al., 2008).

Una opción para resolver el problema entre escalas es el integrar las respuestas de la escala con mayor detalle (i. e.  $\sim 1 \text{ m}^2$ ) y su variabilidad espacial empleando el estado de la superficie, como cobertura vegetal, cobertura superficial del suelo y pendiente del terreno para modelar la redistribución de recursos y la funcionalidad eco-hidrológica a escala de ladera o micro-cuenca (Ludwig et al., 2004).

La información espacial puede integrarse para representar la distribución de fuentes y sumideros de escorrentía y erosión en laderas o pequeñas cuencas y de esta forma simular los procesos eco-hidrológicos que generan el flujo de agua y sedimento (Sidle, 2006; Maneta et al., 2008). Las imágenes de satélite de alta resolución proveen una forma para caracterizar los patrones espaciales en el paisaje, incluyendo la vegetación y cobertura superficial del suelo. El satélite Quickbird captura imágenes de alta resolución (0.6 m y 2.4. m en los modos pancromático y multi-espectral, respectivamente) que constituyen resoluciones relevantes para el manejo a nivel de ladera y potreros (Ludwig et al., 2007; Xie et al., 2008).

En el presente estudio se investigaron las respuestas hidrológicas y de erosión en laderas con vegetación leñosa y pastizal en la región semi-árida de Nueva Gales del Sur, Australia, utilizando simulación de lluvia en parcelas de  $1 \text{ m}^2$ . Se utilizaron mapas de cobertura vegetal derivados de una imagen Quickbird de alta resolución procesada por Muñoz-Robles et al. (2011a), que son una de las entradas principales para modelar la redistribución de escorrentía y sedimento entre áreas con diferente cobertura (i.e. parches e inter-parches) de una forma espacialmente explícita. El modelo de redistribución empleó imágenes de dos años consecutivos en dos laderas adyacentes, una con vegetación leñosa y otra con pastizal. En esta última ladera se construyó una obra de conservación de suelo y agua a través de la construcción de bancos a contorno en el segundo año de estudio. El propósito de estos bancos a contorno es disminuir y distribuir la escorrentía lateralmente y permitiendo que el agua pase a través de algunas salidas en los bancos y moverse a manera escalonada pendiente abajo (Thompson, 2008).

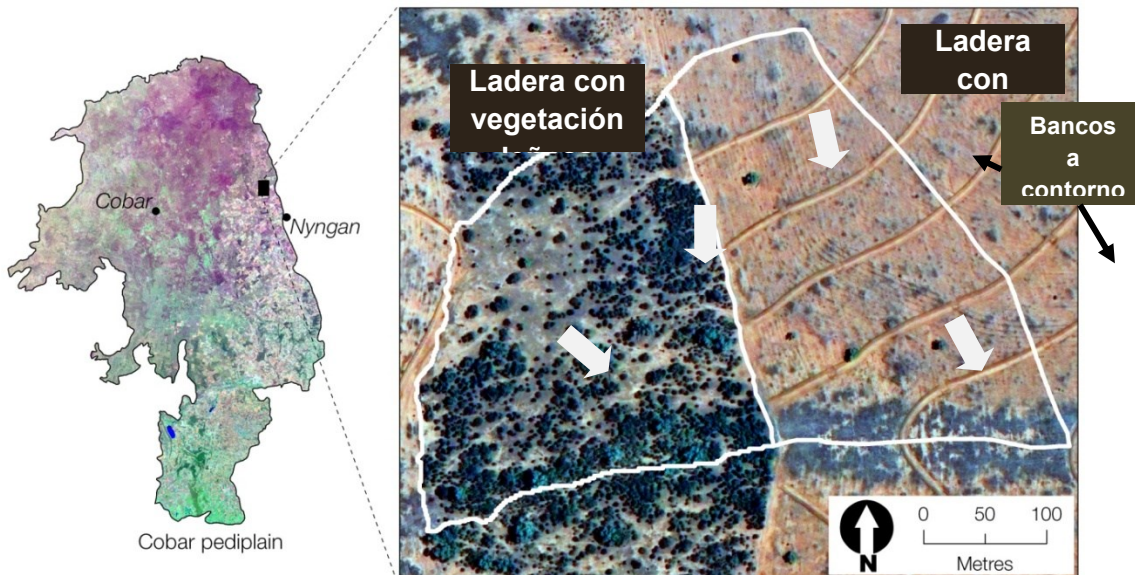


El objetivo del estudio fue generalizar la escorrentía y producción de sedimento medidas con simulación de lluvia a una escala de gran detalle a la escala de ladera con la finalidad de obtener una perspectiva más generalizada de las interacciones eco-hidrológicas. Los objetivos particulares fueron: (1) desarrollar e implementar un modelo espacial de escorrentía y producción de sedimento, y (2) analizar sus resultados en dos laderas con diferente cantidad y distribución de cobertura superficial del suelo, y por lo tanto con funcionalidades eco-hidrológicas diferentes.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las dos laderas se ubican en la pediplanicie de Cobar, Nueva Gales del Sur, Australia (Figura 1). Sus características bióticas y físicas eran similares, pero con distintos tipos de vegetación. La pendiente del terreno osciló entre 1.1% y 1.3% con textura superficial del suelo franco arenosa en ambas laderas. Las especies dominantes en la ladera de vegetación leñosa fueron *Callitris glaucophylla* y *Eremophila mitchellii* (3500 plantas ha<sup>-1</sup>). La vegetación leñosa en la ladera con pastizal fue removida 23 años antes del estudio y cultivada previamente a la obtención de datos en octubre de 2008. Los bancos a contorno fueron construidos en agosto de 2009 en la ladera con pastizal. La superficie de las laderas es de aproximadamente 6.5 ha con una elevación media sobre el nivel del mar de 185 m, ubicadas en terreno ondulado de depósitos coluviales del Cuaternario (Fleming and Zhang, 1999). Los suelos predominantes en la región son Luvisoles y Ferrasoles. El pastoreo de ganado doméstico se excluyó en ambas laderas después de la construcción de los bancos a contorno en el pastizal. La precipitación total en el área es de 441 mm, y las temperaturas mínima y máxima son 4°C y 34°C, respectivamente (Bureau of Meteorology: Australian Government, 2008). La precipitación en 2008 fue de 333 mm y de 395 mm en 2009.



**Figura 1.** Localización del sitio de estudio en la pediplanicie Cobar, Nueva Gales del Sur, Australia. Los bancos a contorno pueden observarse en la ladera con pastizal. Las flechas blancas indican la dirección general de la pendiente del terreno.

## **2.1 DATOS DE ENTRADA**

### **2.1.1 Mapas de cobertura superficial del suelo y modelo digital del terreno**

Se emplearon dos imágenes Quickbird (28 de septiembre de 2008 y 17 de diciembre de 2009, antes y después de la construcción de los bancos a contorno, respectivamente). Las imágenes fueron orto-rectificadas y estandarizadas atmosféricamente. Se realizó una fusión de las bandas pancromáticas y multi-espectrales de cada imagen con la finalidad de obtener imágenes con la resolución espacial de las bandas pancromáticas (0.6 m) preservando la integridad radiométrica de las bandas multi-espectrales (Muñoz-Robles et al., 2011a). Con estas imágenes se derivaron mapas de cobertura superficial del suelo (vegetación leñosa, herbácea y hojarasca), que actúa obstruyendo, disminuyendo y atrapando escorrentía (Ludwig et al., 2002; Tongway and Hindley, 2004; Ludwig et al., 2005). La resolución espacial de todas las variables empleadas fue entonces definida a celdas de 1 m<sup>2</sup> para que coincidieran con las parcelas de simulación de lluvia. Se generó un modelo digital de elevaciones generado a partir de curvas de nivel con equidistancia de 1 m, derivadas de un levantamiento topográfico con estación total laser.

### **2.1.2 Simulación de lluvia**

Se realizaron 55 simulaciones de lluvia en parcelas de 1 m<sup>2</sup> en ambas laderas para caracterizar las tasas de infiltración final, abstracciones iniciales (cantidad de lluvia necesaria para producir escorrentía) y concentración de sedimentos en el gradiente de 0–100% de cobertura superficial del suelo. La lluvia se aplicó con un simulador de disco rotatorio por 30 minutos a una intensidad promedio de 34 mm h<sup>-1</sup>, que representa un evento con un periodo de retorno de 2 años en la región. La humedad del suelo antecedente a la aplicación de lluvia fue de 4% w/w, determinada a través de muestras de suelo tomadas en la adyacencia a la parcela de simulación de lluvia.

## **2.2 ANÁLISIS DE DATOS E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO ESPACIAL**

### **2.2.1 Distribución espacial de respuestas hidrológicas**

Se generaron modelos de regresión para estimar la escorrentía promedio, infiltración final y abstracción inicial en función de la cobertura superficial del suelo, medidas en las parcelas de simulación de lluvia. Las variables fueron transformadas en ciertos casos para cumplir con los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad de residuales. Los análisis se realizaron en el programa R versión 2.9.0 (R Development Core Team, 2009). Los modelos de regresión fueron implementados en Arc/INFO 9.3 (ESRI, 2008) para generar superficies continuas de las respuestas hidrológicas predichas a partir de los mapas de cobertura superficial del suelo de 2008 y 2009. El nivel de significación estadística fue de  $P < 0.05$ .

### **2.2.2 Modelación de la acumulación de escorrentía y sedimento**

La escorrentía hortoniana fue modelada para 2008 y 2009 usando un modelo de dos fases. La primera fase consistió en regionalizar la distribución espacial de las respuestas hidrológicas en celdas de 1 m<sup>2</sup>, mientras que la segunda fase consistió en modelar la transferencia de escorrentía entre las celdas. La entrada principal al modelo fue un evento de lluvia con intensidad de 34 mm h<sup>-1</sup> y duración de 30 min. Para cada celda se estimó la escorrentía hortoniana considerando la lluvia aplicada, la abstracción inicial y la tasa de infiltración final (Figura 2), misma que se asumió como el valor de la conductividad hidráulica saturada (Hillel, 2008). En la primera fase

del modelo, la escorrentía hortoniana se estimó para cada celda, sin considerar el movimiento de la escorrentía pendiente abajo. La transferencia de escorrentía entre las celdas que conformaban las laderas (segunda fase) se modeló utilizando una función de acumulación limitada por la capacidad de retención (Tarboton and Baker, 2009; Tarboton, 1997), que usa un algoritmo recursivo para estimar la escorrentía acumulada en cada celda dependiendo del flujo acumulado en las celdas pendiente arriba y la capacidad de infiltración de cada celda (infiltración final medida con la simulación de lluvia). Así, la escorrentía en cada celda resultó de la suma del flujo generado en cada celda más el aporte del flujo escurrido de otras celdas vecinas, si la capacidad de infiltración era excedida en cada celda. La escorrentía acumulada en cada celda se multiplicó por la concentración de sedimentos medida en las parcelas de simulación de lluvia ( $3.05 \text{ g L}^{-1}$ ) para obtener una estimación de la producción de sedimento (Roth et al., 2003; Little et al., 2005; Haan et al., 2006).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 RELACIONES ENTRE LAS RESPUESTAS HIDROLÓGICAS Y LA COBERTURA SUPERFICIAL DEL SUELO

Se obtuvieron modelos de regresión significativos para estimar escorrentía, infiltración final y abstracción inicial ( $P < 0.0001$ ). La cobertura superficial del suelo explicó entre 48% y 54% de la variabilidad en respuestas hidrológicas en la ladera con vegetación leñosa, mientras que en la ladera con pastizal la varianza explicada por la cobertura superficial del suelo fue entre 67% y 83%.

#### 3.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA ESCORRENTÍA Y PRODUCCIÓN DE SEDIMENTO

La modelación de la acumulación de la escorrentía mostró las áreas con potencial para producir flujo superficial en cada ladera y en las dos fechas de estudio, como resultado de las interacciones entre la escorrentía, la infiltración y la dirección de la pendiente (Figura 2). El 81.2% y el 86.8% de la ladera con vegetación leñosa no acumularon escorrentía en la parte baja de la ladera en 2008 y 2009, respectivamente. La escorrentía producida en algunas partes de la ladera con vegetación leñosa se infiltró pendiente abajo al encontrar áreas con alta capacidad de infiltración (i.e. parches bajo copas de árboles y arbustos). Por otra parte, la ladera con pastizal tuvo valores de acumulación de escorrentía entre  $230.0 \text{ L m}^{-2}$  por 0.5 h y  $600.0 \text{ L m}^{-2}$  por 0.5 h, respectivamente, en 2008, con tan solo un 3.4% de la ladera sin producir escorrentía. Las capacidades de infiltración fueron superadas por el flujo proveniente de celdas pendiente arriba, incrementando la acumulación de escorrentía en la ladera con pastizal. Sin embargo, cuando se modeló el efecto de los bancos a contorno y la cobertura superficial del suelo en la ladera con pastizal para 2009, la proporción de la ladera que no produjo escorrentía aumentó a 24%, y los valores de acumulación de escorrentía disminuyeron un 68% (a  $73.6 \text{ L m}^{-2}$  por 0.5 h) comparado con 2008.

La producción de sedimento siguió un patrón similar al de la acumulación de escorrentía. La ladera con vegetación leñosa produjo entre  $0.01 \text{ kg m}^{-2}$  y  $0.4 \text{ kg m}^{-2}$  de sedimento en 2008 y 2009, pero el 80% de la ladera no produjo sedimento. La ladera con pastizal produjo hasta  $1.8 \text{ kg m}^{-2}$  de sedimento en 2008 y 2009, pero la proporción de la ladera que produjo gran cantidad de sedimento en 2009 (promedio de  $0.2 \text{ kg m}^{-2}$ ) fue más baja que en 2008 (promedio de  $0.7 \text{ kg m}^{-2}$ ).

Al comparar ambas laderas, se encontró que la ladera con pastizal produjo 64 veces mayor acumulación de escorrentía que la ladera con vegetación leñosa en 2008. En 2009, la ladera con pastizal y bancos a contorno, generó 24 veces mayor acumulación de escorrentía que la ladera con vegetación leñosa.

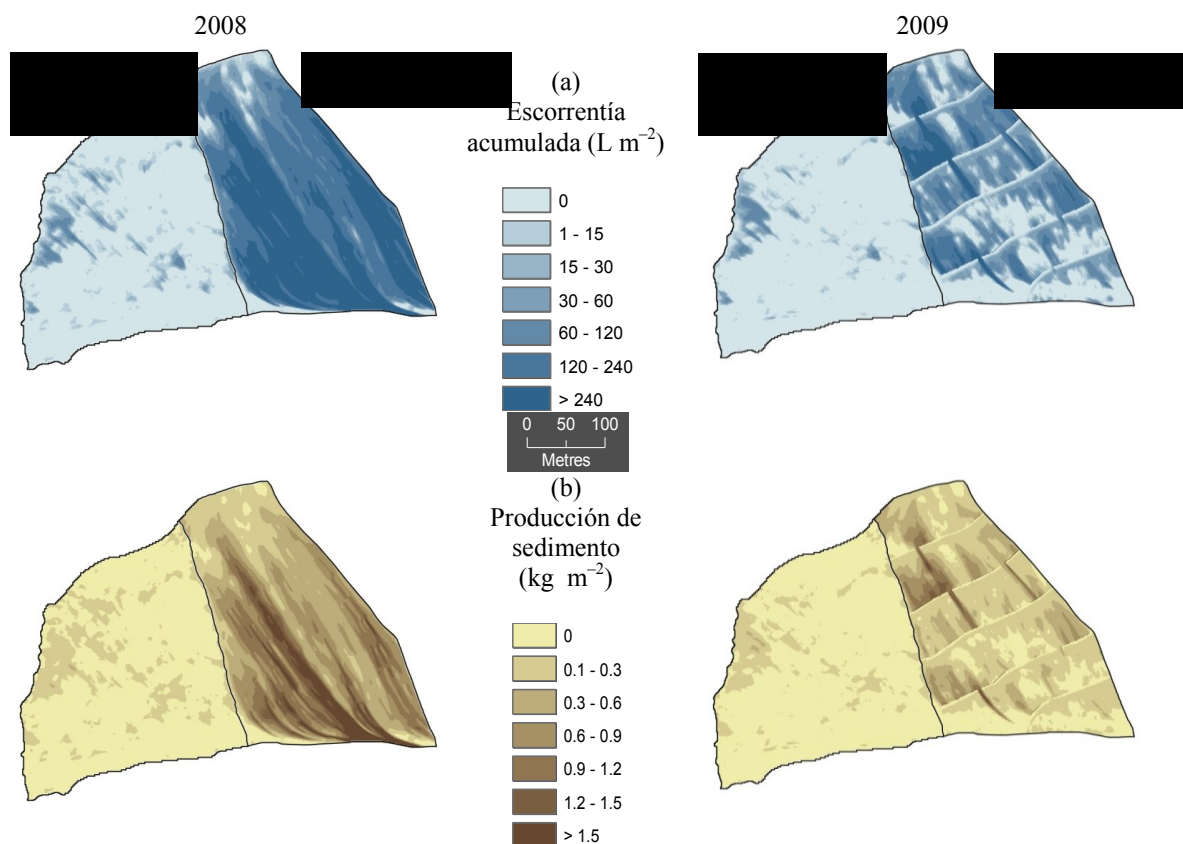
## 4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las condiciones antecedentes (i.e. humedad del suelo, capacidad de retención de agua, infiltración) y la lluvia incluyen la respuesta del flujo superficial (Connolly et al., 2002). Los resultados de la modelación presentados en este trabajo son válidos considerando las siguientes circunstancias y supuestos: (1) humedad el suelo de 4% w/w antes de iniciar las simulaciones de lluvia; (2) una intensidad de lluvia moderada y constante, (3) el supuesto de que la cobertura superficial del suelo es una medida indirecta de otras propiedades físicas del suelo (i.e. densidad, textura y porosidad) que influyen las respuestas hidrológicas, y (4) las relaciones entre la escorrentía y la cobertura herbácea y de hojarasca en las laderas.

La resolución espacial de datos obtenidos por satélites debe coincidir con la escala focal del proceso bajo estudio (Ludwig et al., 2007). Las respuestas hidrológicas y la producción de sedimentos se midieron en pequeñas parcelas de simulación de lluvia. A esta escala, las condiciones superficiales como la cobertura del suelo, textura del suelo, micro-topografía y encostramiento estructural constituyen los principales factores determinantes de la producción de escorrentía y sedimento (Eldridge and Rotherton, 1992; Petersen and Stringham, 2008; Michaelides et al., 2009). Sin embargo, conforme la escala comienza a generalizarse (disminuir), otros factores que controlan la infiltración, el flujo superficial y el transporte de sedimento se tornan importantes, como la distribución de los parches con vegetación, la conectividad de áreas de suelo desnudo y la longitud de la pendiente. Estos factores afectan la escorrentía y la producción de sedimento porque al generalizarse la escala, existen mayores oportunidades de que existan más elementos que pueden obstruir el flujo superficial y propiciar la infiltración (Connolly et al., 2002; Cammeraat, 2004). Una alta proporción de áreas con gran cobertura superficial del suelo en laderas, que resultan en una menor conectividad de las áreas productoras de escorrentía provee mayor oportunidad de infiltración y promueve pulsos de producción de biomasa (e. g. parches con vegetación).

Los resultados capturaron los principales factores que controlan la escorrentía y la producción de sedimento, ya que el flujo superficial durante tormentas de intensidad moderadas (como la simulada en este estudio) está controlado principalmente por la condición de la superficie del suelo y la heterogeneidad espacial de la infiltración, que es influenciada a su vez, por la cobertura superficial del suelo y su configuración espacial (Puigdefábregas, 2005), ya que otros factores como la textura del suelo y la pendiente fueron similares en ambas laderas. Las áreas con alta cobertura superficial del suelo capturaron escorrentía procedente de áreas con baja cobertura superficial debido a su alta capacidad de infiltración. Las áreas con alta cobertura superficial del suelo pueden reducir la velocidad del flujo y obstruir la escorrentía y de esta manera retener sedimentos y nutrientes (Ludwig et al., 2005). Estas relaciones eco-hidrológicas han sido documentadas en otros estudios (Greene et al., 2001; Ludwig et al., 2005; Mayor et al., 2009; Muñoz-Robles et al., 2011b).

La precipitación pluvial fue mayor en 2009 que en 2008, y junto con la exclusión de ganado en 2009, contribuyeron al crecimiento de vegetación herbácea en ambas laderas. La construcción de los bancos a nivel contribuyó a interrumpir la conectividad de las áreas productoras de escorrentía. Los bancos a nivel redujeron esta conectividad en un 78% luego de tres meses de su construcción. Esta iniciativa de manejo es un ejemplo de un manejo de pastizales efectivo, basado en procesos eco-hidrológicos operando en estos sistemas semi-áridos.



**Figura 2.** Distribución espacial de (a) escorrentía acumulada modelada, y (b) producción de sedimento.

La generalización de datos en escala detallada ( $1\text{-m}^2$ ) a escala de ladera presentada en este estudio constituye una importante herramienta de exploración de la distribución espacial de la escorrentía y la erosión, que no ha sido empleada en otros estudios similares enfocados a describir la forma en que los paisajes retienen recursos (Ludwig et al., 1999; Ludwig et al., 2002). Nuestro enfoque también incorpora los principales factores que controlan las respuestas hidrológicas y de erosión a escala de ladera y contribuye al entendimiento de las relaciones eco-hidrológicas superficiales en bosques y pastizales en la región de estudio.

### AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por el National Action Plan for Salinity and Water Quality a través de Central West Catchment Management Authority. El CONACYT patrocinó una beca de doctorado para el autor principal. Los autores agradecen a David Tarboton por proveer código y software para el análisis de datos y a Warren Furphy por su apoyo durante el trabajo de campo. El contenido de este trabajo no refleja la política oficial de la Oficina Environment and Heritage de Nueva Gales del Sur, the gobierno de Nueva Gales del Sur, el gobierno Australiano o cualquier otra organización o agencia gubernamental.

## REFERENCIAS

- Bartley, R., Roth, C.H., Ludwig, J.A., McJannet, D., Liedloff, A.C., Corfield, J., Hawdon, A. and Abbott, B., 2006. Runoff and erosion from Australia's tropical semi-arid rangelands: influence of ground cover for differing space and time scales. *Hydrological Processes* 20: 3317-3333.
- Beeson, P., Martens, S.N. and Breshears, D.D., 2001. Simulating overland flow following wildfire: mapping vulnerability to landscape disturbance. *Hydrological Processes* 15: 2917-2930.
- Bureau of Meteorology: Australian Government, C., ACT, 2008. *Climate statistics for Australian Locations*. Available online at: <http://www.bom.gov.au>.
- Cammeraat, E.L.H., 2004. Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 317-332.
- Connolly, R.D., Silburn, D.M., Glanville, S.G. and Bridge, B.J., 2002. Using rainfall simulators to derive soil hydraulic parameters, *Soil Physical Measurement and Interpretation for Land Evaluation*. CSIRO Publishing: Collinwood, Victoria, pp. 163-176.
- Eldridge, D.J. and Rotheron, J., 1992. Runoff and sediment yield from a semi-arid woodland in Eastern Australia. I. The effect of pasture type. *Rangeland Journal* 14: 26-39.
- ESRI, 2008. Arc/INFO 9.3. Environmental Systems Research Institute, Institute: Redlands, CA, USA.
- Fleming, G. and Zhang, W., (compilers), 1999. Geological digital data package for the Discovery 2000 Cobar Project area, Version 1, Geological Survey of New South Wales: Sydney, Australia, Available on CD-ROM.
- Greene, R.S., Valentin, C. and Esteves, M., 2001. Runoff and erosion processes. In: D. Tongway, C. Valentin and J. Seghieri (Editors), *Banded Vegetation Patterning in Arid and Semiarid Environments*. Springer-Verlag, New York, pp. 52-76.
- Haan, M.M., Russell, J.R., Powers, W.J., Kovar, J.L. and Benning, J.L., 2006. Grazing management effects on sediment and phosphorus in surface runoff. *Rangeland Ecology and Management* 59: 607-615.
- Hillel, D., 2008. *Soil in the Environment, Crucible of Terrestrial Life*. Academic Press, Elsevier: San Diego, CA, USA.
- Horton, R.E., 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions of American Geophysical Union* 14: 446-460.
- Little, J.L., Bennett, D.R. and Miller, J.J., 2005. Nutrient and sediment losses under simulated rainfall following manure incorporation by different methods. *Journal of Environmental Quality* 34: 1883-1895.
- Ludwig, J.A., Bastin, G.N., Wallace, J.F. and Mc Vicar, T.R., 2007. Assessing landscape health by scaling with remote sensing: when is it not enough? *Landscape Ecology* 22: 163-169.
- Ludwig, J.A., Eager, R.W., Bastin, G.N., Chewings, V.H. and Liedloff, A.C., 2002. A leakiness index for assessing landscape function using remote sensing. *Landscape Ecology* 17: 157-171.
- Ludwig, J.A. and Tongway, D.J., 1995. Spatial organisation of landscapes and its function in semi-arid woodlands, Australia. *Landscape Ecology* 10: 51-63.
- Ludwig, J.A., Tongway, D.J., Bastin, G.N. and James, C.D., 2004. Monitoring ecological indicators of rangeland functional integrity and their relation to biodiversity at local and regional scales. *Austral Ecology* 29: 108-120.
- Ludwig, J.A., Tongway, D.J. and Marsden, S.G., 1999. Stripes, strands or stipples: modelling the influence of three landscape banding patterns on resource capture and productivity in semi-arid woodlands, Australia. *Catena* 37: 257-273.
- Ludwig, J.A., Wilcox, B.P., Breshears, D.D., Tongway, D.J. and Imeson, A.C., 2005. Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. *Ecology* 86: 288-297.
- Maneta, M., Schnabel, S. and Jetten, V., 2008. Continuous spatially distributed simulation of surface and subsurface hydrological processes in a small semiarid catchment. *Hydrological Processes* 22: 2196-2214.
- Mayor, A.G., Bautista, S. and Bellot, J., 2009. Factors and interactions controlling infiltration, runoff, and soil loss at the microscale in a patchy Mediterranean semiarid landscape. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 1702-1711.
- Michaelides, K., Lister, D., Wainwright, J. and Parsons, A.J., 2009. Vegetation controls on small-scale runoff and erosion dynamics in a degrading dryland environment. *Hydrological Processes* 23: 1617-1630.

- Montaña, C., Seghieri, J. and Cornet, A., 2001. Vegetation dynamics: recruitment and regeneration in two-phase mosaics. In: D. Tongway, C. Valentin and J. Seghieri (Editors), *Banded Vegetation Patterning in Arid and Semiarid Environments*. Springer-Verlag, New York, pp. 132-145.
- Mueller, E.N., Wainwright, J. and Parsons, A.J., 2007. Impact of connectivity on the modelling of overland flow within semiarid shrubland environments. *Water Resources Research* 43: W09412, doi: 10.1029/2006WR005006.
- Muñoz-Robles, C., Frazier, P., Tighe, M., Reid, N., Briggs, S. and Wilson, B., 2011a. Assessing ground cover at patch and hillslope scale in semi-arid woody vegetation and pasture using fused Quickbird data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 14: 94-102.
- Muñoz-Robles, C., Reid, N., Tighe, M., Briggs, S.V. and Wilson, B., 2011b. Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semi-arid Australia. *Geoderma* 160: 524-534.
- Petersen, S.L. and Stringham, T.K., 2008. Infiltration, runoff, and sediment yield in response to Western Juniper encroachment in Southeast Oregon. *Rangeland Ecology and Management* 61: 74-81.
- Puigdefábregas, J., 2005. The role of vegetation patterns in structuring runoff and sediment fluxes in drylands. *Earth Surface Processes and Landforms* 30: 133-147.
- Puigdefábregas, J. and Sanchez, G., 1996. Geomorphological implications of vegetation patchiness on semi-arid slopes. In: M.G. Anderson and S.M. Brooks (Editors), *Advances in Hillslope Processes*. Wiley, London, pp. 1027-1060.
- R Development Core Team, 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Institute for Statistics and Mathematics: Vienna, Austria. Available online: <http://www.R-project.org>.
- Roth, C.H., Prosser, I.P., Post, D.A., Gross, J.E. and Webb, M.J., 2003. *Reducing Sediment Export from the Burdekin Catchment. Volume I Main Report*, Meat and Livestock Australia, Canberra, ACT.
- Sala, O.E. and Aguiar, M.R., 1995. Origin, maintenance, and ecosystem effect of vegetation patches in arid lands. In: N. West (Editor), *Rangelands in a Sustainable Biosphere. Fifth International Rangeland Congress*, Salt Lake City, U.S.A., pp. 29-32.
- Selby, M.J., 1993. Water in soils and hillslope hydrology, *Hillslope Materials and Processes*. Oxford University Press: Oxford, UK, pp. 202-218.
- Sidele, R.C., 2006. Field observations and process understanding in hydrology: essential components in scaling. *Hydrological Processes* 20: 1439-1445.
- Tarboton, D.G., 1997. A new method for the determination of flow directions and contributing areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research* 33: 309-319.
- Tarboton, D.G. and Baker, M.E., 2009. Toward an algebra for terrain-based flow analysis. In: N. Mount, G. Harvey, P. Aplin and G. Priestnall (Editors), *Representing, Modeling and Visualizing the Natural Environment. Innovations in GIS 13*. CRC Press: Boca Raton, FL, USA, pp. 167-194.
- Thompson, R., 2008. Waterponding: reclamation technique for scalded duplex soils in western New South Wales rangelands. *Ecological Management and Restoration* 9: 170-181.
- Tongway, D.J. and Hindley, N., 2004. *Landscape Function Analysis: Procedures for monitoring and assessing landscapes*. CSIRO Publishing: Collingwood, VIC, Australia.
- Xie, Y., Sha, Z. and Yu, M., 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology* 1: 9-23.





# ESTIMACIÓN DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN LA SUBCUENCA TZURUMÚTARO, PÁTZCUARO, MICH.

Juan Carlos ÁLVAREZ S.<sup>1</sup>, y Alfredo AMADOR G.<sup>1</sup> Rubén I. HUERTO D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edificio R. CU. C.P. 59800. Morelia, Mich. Tel y Fax (443) 3167412 [amador.umich@gmail.com](mailto:amador.umich@gmail.com)

<sup>2</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental. Paseo Cuahunahuac 8532, Progreso Jiutepec, C.P. 62550 Morelos, México. Tel y Fax (777) 3293665 Y 3293600 EXT.385 [rhuerto@tlaloc.imta.mx](mailto:rhuerto@tlaloc.imta.mx)

## RESUMEN

La subcuenca Tzurumútaro perteneciente a la cuenca endorreica de Pátzcuaro se localiza en la parte central del estado de Michoacán de Ocampo a escasos kilómetros de la localidad del mismo nombre. Cuenta con una superficie de 129.24 km<sup>2</sup> y su altitud oscila entre 2,040 y 2,860 m. Su naturaleza geológica consiste de rocas volcánicas del Cenozoico y sedimentos lacustres. En esta área destaca la creciente intensificación de actividades agropecuarias, el uso de agroquímicos, la deforestación por tala clandestina, los incendios forestales y el cambio de uso de suelo y vegetación. Asimismo, las tormentas del periodo lluvioso, que se vislumbran cada vez más intensas aunque con menor acumulación anual, intensifican también los eventos de escurrimiento superficial en la subcuenca, agravando con ello en muchos casos los de por si intensos problemas ambientales de la cuenca. Se estimó el caudal de la subcuenca para los años 2010 y 2011 como una función del coeficiente de escurrimiento por las características morfométricas, edafológicas y de cobertura vegetal. Se siguieron tres métodos: la medición directa del caudal en el punto de drenaje de la subcuenca por el método área-velocidad; la aplicación del método estipulado en la Norma Oficial Mexicana NOM-011 CNA 2000 y por último el método del hidrograma triangular.

Mediante el método de área-velocidad se estimó un total de 17 hm<sup>3</sup> en el periodo señalado, mientras que las estimaciones con siguiendo la NOM-011 y el método del hidrograma triangular se obtienen valores de 0.14 y 0.17 hm<sup>3</sup> respectivamente. La diferencia entre estos últimos valores se explica con los criterios de clasificación de la cobertura vegetal. Lo anterior debido por supuesto a que los modelos de la NOM-011 y el hidrograma triangular solo estiman el escurrimiento proveniente de la precipitación en la subcuenca mientras que las mediciones directas y el método área-velocidad, considera los aportes significativos de los gastos de los manantiales de la localidad Chapultepec que contribuyen con la mayor aportación continua al lago.

Los métodos utilizados constituyen herramientas muy útiles para la evaluación rápida de los efectos hidrológicos por las modificaciones o cambios de uso de suelo y la vegetación o cobertura vegetal. Las mediciones directas con el método área-velocidad es singularmente importante para el aforo de cauces perennes de cuencas pobremente aforadas.

## 1 INTRODUCCION

Del total de agua naturalmente disponible en México, se estima que en el año 2009 se extrajeron de los ríos, lagos y acuíferos del país alrededor de 80.6 km<sup>3</sup> para los principales usos. De ellos, 62% procede de los escurrimientos superficiales y 38% de los acuíferos. De ese mismo volumen, el uso agropecuario representa 76.7% de la extracción, seguido por el abastecimiento público con 14.1% y la industria autoabastecida con 9.2% (CONAGUA 2011b).

Es bien conocido que la eliminación de la vegetación disminuye la cantidad de agua de lluvia que se filtra para recargar los acuíferos, lo que ocasiona un mayor escurrimiento superficial que, a su vez, arrastra el suelo fértil y lo deposita en lagos, ríos, lagunas y humedales, provocando su azolvamiento y alterando la calidad del agua, la morfología del cauce y los hábitats acuáticos. Cuando debido a lluvias torrenciales estos escurrimientos son excesivos, se producen inundaciones que seguramente podrían haberse amortiguado si existiese la vegetación original. De ahí la importancia del papel fundamental que desempeñan principalmente los bosques, ya que de ellos depende la forma en que las aguas acceden a los cauces, disminuyendo las aportaciones superficiales y aumentando las subterráneas (López 1994).

El enfoque de cuencas, permite cuantificar y evaluar los efectos de las diferentes actividades del hombre sobre los recursos hídricos (Cuevas *et al.* 2007). Esta evaluación requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, la comprensión del ciclo en sus diferentes fases, la forma en la que el agua se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escurrimiento e infiltración; así como la interrelación entre estos procesos con los componentes que afectan el sistema de la cuenca (Pladeyra 2003 citado de Córdova 2010). Los factores de la cuenca que influyen en la distribución temporal del escurrimiento se dividen en físicos y humanos, entre los primeros están todas las características de la cuenca asociadas a su topografía, como son: tamaño, forma, pendiente, altitud y orientación. También factores asociados a la geología y los suelos, así como la cubierta vegetal, debido al impacto que tienen sobre la infiltración y la evapotranspiración, y finalmente la red de drenaje. Respecto a las obras y acciones del hombre, estas se pueden englobar a las tres siguientes: (1) estructuras hidráulicas, principalmente embalses de todo tipo, tamaño y propósito, diques para protección contra inundaciones y otras obras de drenaje y/o conservación de suelos; (2) deforestaciones y reforestaciones, así como prácticas agrícolas de todo tipo, y (3) urbanización, la cual reduce notoriamente la infiltración generando más precipitación en exceso y acelerando el escurrimiento a través de los sistemas de drenaje urbano (Campos–Aranda 2007). Desafortunadamente las obras y acciones del hombre como el avance de la deforestación, o el incremento de la superficie ocupada por centros urbanos en el territorio nacional, han provocado grandes efectos destructivos en el país como son inundaciones o sequías.

La subcuenca Tzurumútaró, Pátzcuaro, Mich., cuenta con problemas ambientales diversos entre los que destacan la intensificación de las actividades agropecuarias y el uso de agroquímicos, la deforestación por tala clandestina, los incendios forestales, el cambio de uso del suelo y la vegetación, el sobrepastoreo, la pérdida de biodiversidad, el incremento a las tasas de erosión y la carga de sedimentos y fuentes de contaminación difusa. Problemas todos estos que crecen ante la intensificación de las tormentas y del escurrimiento superficial que es drenado en el área de estudio (IMTA 2002). Por lo anterior, se considera relevante el presente estudio; ya que tiene como objetivo valorar el caudal de este importante dren como una función de la cobertura vegetal y obtener un modelo de lluvia-escurrimiento para la subcuenca de Tzurumútaró Michoacán, México.

## **2 AREA DE ESTUDIO**

La zona de estudio se encuentra en la parte central del Estado de Michoacán, en la región hidrológica 12 y en la porción oeste de la cuenca cerrada del Lago de Pátzcuaro a 4 kilómetros al

NE de Pátzcuaro, con coordenadas extremas superior derecha e inferior izquierda en UTM (Universal Transversal Mercator), 239,105 mE, 2,1792,725 mN y 230,811 mE, 2,159,465 mN respectivamente. La altitud oscila entre 2,240 y 3,010 m s.n.m., el área de la cuenca de captación es de 155.132 km<sup>2</sup> y en ésta se localiza la unidad de riego Tzurumútaró administrada por el distrito de Riego No. 20 Morelia (IMTA 2002).

La estación climatológica más cercana al área de estudio se ubica en Pátzcuaro (16087 de acuerdo a C.N.A.). Cuenta con tres periodos de registro, el primero es de 1951 a 2010, el segundo de 1971 a 2000 y el tercero va de 1981 a 2010, véase el cuadro 5. Una segunda estación se ubica en Santa Fé de la Laguna (16118 de acuerdo a C.N.A.). Que de igual modo cuenta con tres periodos de registro, el primero es de 1951 a 2010, el segundo de 1971 a 2000 y el tercero va de 1981 a 2010. En la estación de Pátzcuaro de acuerdo al sistema de Köppen modificado por García (2004), para los periodos 1951 a 2010 y 1971 a 2000, se obtuvo el clima Cb(w2)(w)(i') y para el periodo comprendido de 1981 a 2010 un clima tipo Cb(w2)(w)(i') gw"; del mismo modo se obtuvo en la estación Santa Fe en los periodos 1951 a 2010 y 1971 a 2000 el clima Cb(w1)(w)(i') g, y Cb(wo)(w)(i') g para el periodo 1981 a 2010.

Los meses de mayor precipitación se presentan a partir de junio y terminan en septiembre, asimismo se observa una magnitud de entre los 220 y 100 mm de precipitación solo en cuatro meses (de junio a septiembre). En términos de escurrimiento, es en estos cuatro 49 meses en donde se produciría mayor exceso de agua y podrá ocurrir escurrimiento. Se observa que en la estación de Santa Fe en los últimos 30 años hay una baja disminución en la precipitación, mientras que en la estación de Pátzcuaro, se presenta la mayor precipitación anual en los tres periodos de registro con referencia a la estación de Santa Fe, con diferencias de 200 mm de precipitación. Las temperaturas más cálidas en ambas estaciones se presentan antes del mes de junio, lo que los caracteriza como un clima templado. Las temperaturas más altas se presentan en la estación de Pátzcuaro con temperaturas máximas entre los 20°C y los 30 °C. La menor temperatura mínima anual fue registrada para la estación de Santa Fe con 6.8°C, así como la temperatura media anual más baja con 16.1 °C. Contrastando las estaciones de Santa Fe y Pátzcuaro, con los tres periodos de registros, se observa que en la estación Pátzcuaro llueve más y la temperatura oscila más; mientras que en Santa Fe llueve menos, pero también la temperatura oscila menos. Por otro lado, hechos recientes, como inundaciones y sequías, demuestran que los efectos del cambio climático están produciendo impactos sobre el sistema económico y la seguridad de la población. En la subcuenca, de acuerdo con las estaciones Santa Fe y Pátzcuaro, seguirá disminuyendo la precipitación y la evapotranspiración aumentara; por lo tanto los periodos de sequía serán más prolongados; por lo cual el escurrimiento superficial se verá afectado alterando la cantidad y calidad. Así los escurrimientos superficiales disminuirán. Actualmente en la subcuenca hay mucha presión sobre los recursos hídricos por parte del sector agrícola que aunado a la disminución de la precipitación se ven seriamente afectados. Además debido al cambio de los recursos hídricos, cambiarán los patrones de comportamiento de muchas especies de plantas y animales.

El tiempo de concentración obtenido de acuerdo a Kirpich fue de: 1.78 h, esto con una pendiente de 0.05% y una longitud del cauce de 16, 112 m. Tomando en cuenta la fórmula de Rowe se obtuvo un tiempo de concentración de 1.76 h, considerando la misma longitud de cauce y una diferencia de

elevación de 820m. El tiempo de concentración obtenido con la formula general fue de 1.79 h, considerando la misma longitud de cauce, con una velocidad de 2.5 m/s (velocidad obtenida en los meses de mayor precipitación). El Simulador de Escurrimientos Superficiales de INEGI (SIATL) obtiene el tiempo de concentración de 147.14 min (2.46 h), con una elevación máxima de 2,461m, una elevación mínima de 2,040 m, una longitud del cauce de 17,232 m. Aunque en el presente trabajo no se tomara en cuenta, ya que muestra inconsistencia en el cauce principal y en la diferencia altitudinal.

Los suelos más importantes de la subcuenca son los Luvisoles y, en segundo orden de importancia los andosoles, en tercer lugar se encuentra el suelo vertisol; el suelo de tipo litosol se encuentra en cuarta posición y es seguido por el suelo Acrisol, en menor proporción se encuentran los suelos Feozem y los Ranker en sexta y séptima posición respectivamente y por ultimo tenemos a los Gleysoles que se encuentran en muy pocas partes del área de estudio. La descripción y características de los tipos de suelos que caracterizan a la subcuenca fueron obtenidas de la síntesis Geográfica de Michoacán (1985) y la cartografía del INEGI (2004). En general los suelos son jóvenes, se formaron de manera residual, en su mayoría lo hicieron a partir de las cenizas volcánicas, producto de las erupciones más recientes en el periodo cuaternario y también de rocas basálticas, tobas, brechas, y andesitas. Más de la mitad son suelos profundos en algunos casos son pedregosos y gravosos; la cuarta parte son delgados, y en menor proporción están los someros, en ambos casos la profundidad efectiva se encuentra limitada por roca.

### **3 METODOLOGÍA**

En el presente trabajo se utilizará el método de área y velocidad, que consiste en medir el área de la sección transversal de la corriente y la velocidad media del flujo para obtener el gasto como el producto del área y la velocidad (IMTA 1999). Debido a que la distribución de velocidades en un cauce no es uniforme, se divide la sección transversal en franjas, con la finalidad de obtener en cada una de éstas el área y velocidad media del agua. El gasto por franja se obtiene multiplicando el área y la velocidad; el gasto total se calcula sumando los gastos de todas las franjas en que se dividió la sección transversal.

Se seleccionó un tramo lo más recto posible y libre de maleza.

- Se midió el ancho de la corriente de orilla a orilla, para esto se fijaron dos puntos: del lado izquierdo y derecho ambos al mismo nivel, tomando en cuenta las avenidas máximas.
- Para la obtención de la morfología se midieron las profundidades de izquierda a derecha a cada 5 centímetros.
- Se dividió el ancho de la corriente en cinco franjas, dividiendo cada franja en dos partes iguales, marcando el punto medio del ancho de la franja.
- Se midieron las profundidades (tirantes) sobre los puntos marcados. A cada franja le correspondieron tres tirantes (A, B y C). El tirante central (B) es único para cada franja, pero los tirantes extremos (A y C), de franjas vecinas, son comunes y corresponden a ambas franjas.

Se calculó el tirante promedio ( $\bar{d}$ ) con la siguiente expresión:

$$\bar{d} = (A + 2B + C) / 4$$

Donde:  $\bar{d}$  = tirante promedio. A = tirante inicial (extremo). B = tirante central. C = tirante final (extremo). Se calculó el área de cada franja (A) como el producto del tirante medio ( $\bar{d}$ ) y el ancho de la franja (a):  $A = a * \bar{d}$

Y se calculó el área de la sección transversal (AT) sumando el área de las franjas ( $A_n$ ):

$$AT = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$$

Ya que la velocidad varía a lo ancho de la sección transversal y sobre cada vertical, no se debe medir en un solo punto. Por el contrario, como ya se mencionó, hay que dividir las secciones en franjas verticales (IMTA 1999).

Para obtener la velocidad media en una vertical, se promediaron las velocidades obtenidas a 20 % (es donde se encuentra la velocidad mínima del cauce), 60% (se encuentra la velocidad promedio) y 80 % (a esta profundidad se encuentra la velocidad máxima en el cauce) de profundidad con el dispositivo FlowMate (Mash McBirney, modelo 2000).

El gasto total (QT) es simplemente la suma de los gastos parciales ( $q_i$ ):

$$QT = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n$$

En donde =

$q_i$  = Gasto de la franja.

$A_i$  = Área de la franja.

$V_i$  = Velocidad de la franja

QT = Es el gasto total.

## 4 RESULTADOS

La sección transversal del cauce tiene un ancho total de 12 m, en esta sección se colocó el sensor de nivel. En este punto se observó una profundidad de 1.6 m. Las secciones que se definieron consideraron la posibilidad de muestrear en condiciones de máxima elevación del cauce, Las 5 secciones muestreadas y sus dimensiones se esquematizan en la figura 1.

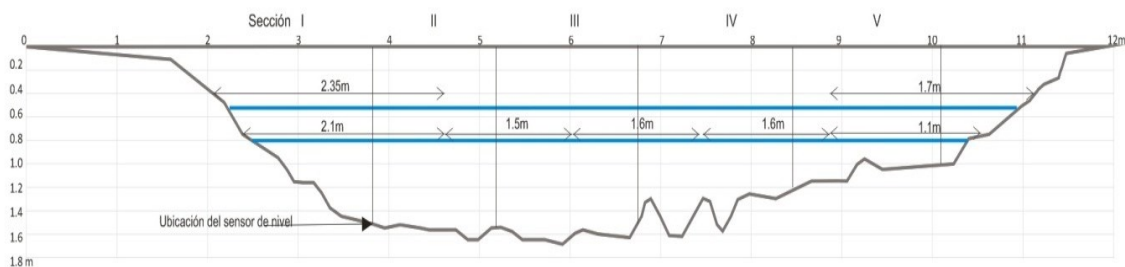


Figura 1. Sección transversal del dren Tzurumútaro en el punto de inserción del sensor de nivel y secciones muestreadas con sus respectivos anchos y profundidades.

Las lecturas del nivel comprendidas del 2 de septiembre de 2010 a agosto de 2011 se relacionaron con el caudal medido semanalmente por velocidad de flujo y ancho de las subsecciones y se transformaron a un modelo empírico de altura registrada en el sensor con caudal en  $m^3/s$ . Se encontraron variaciones en las áreas de cada sección influyendo en los valores del gasto en el dren. Los meses que mayor caudal registraron fueron los de julio y septiembre. Las mayores velocidades en el dren se registraron en la sección III a 60% de profundidad en la mayoría de las muestras, esto debido a que el flujo es obstruido por las orillas, además de que en muchas campañas de muestreo las hidrófitas ocupaban gran parte de las secciones IV y V, lo cual afectaron directamente en la velocidad del flujo para esas secciones, de tal manera que en la sección III se obtuvo el mayor gasto en la mayoría de las campañas. El modelo de regresión binomial desarrollado en el presente estudio se complementa con un total de 23 fechas (Figura 2) aunque el ajuste no es bueno por las numerosas fluctuaciones del gasto en el Dren ocasionadas por la constante remoción de hidrófitas y el dragado del mismo durante la época de estiaje. Una vez removidos los “outliers” de este periodo el modelo generado ajusta con una  $R^2 > 0.7$

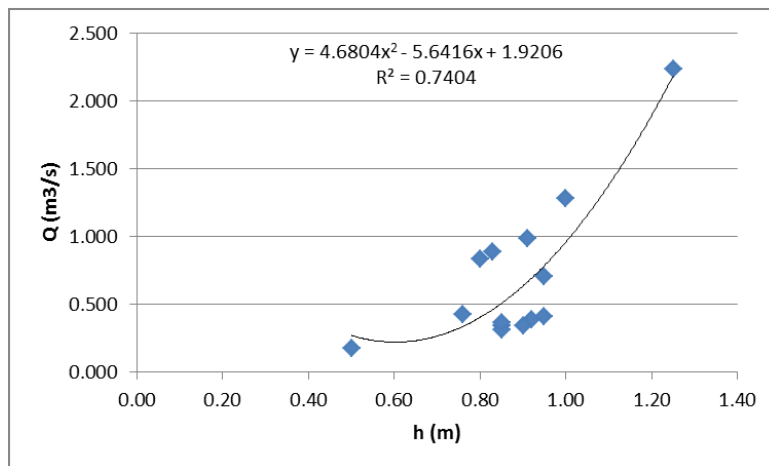
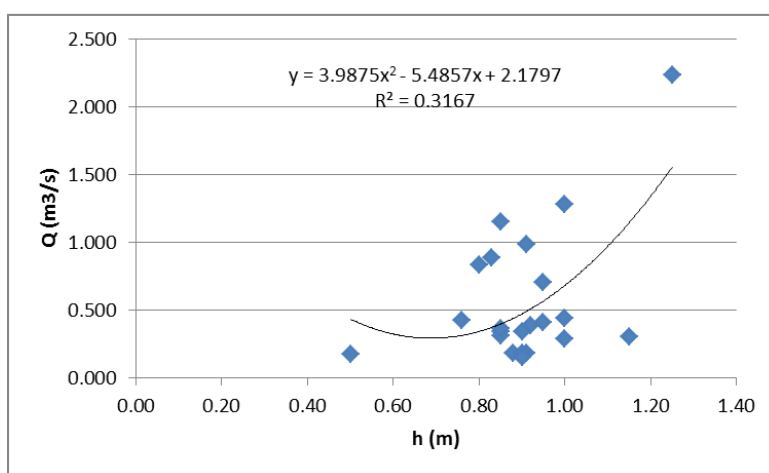
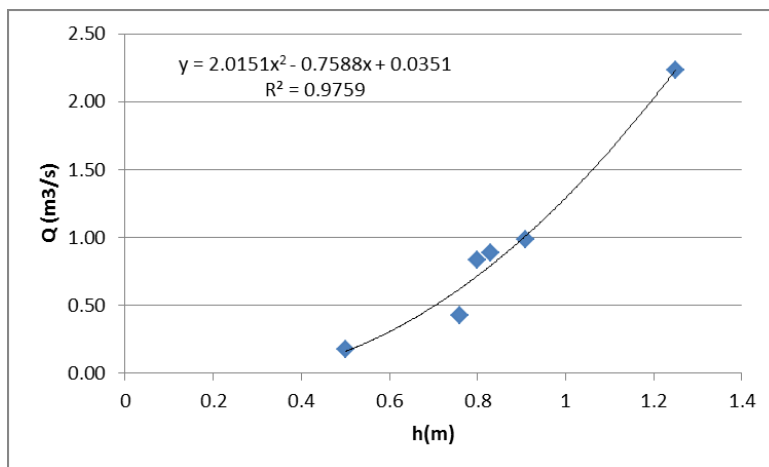


Figura 2. Modelos de ajuste de la relación altura del cauce ( $h$  en m) con caudal ( $Q$  en m<sup>3</sup>/s) en el dren Tzurumútaró. a) Con 6 datos de 2010. b) Con 23 datos de 2010-2011 incluyendo periodo de dragado y remoción de hidrófitas y c) Excluyendo 8 semanas del periodo de trabajos en el dren.

Con este modelo se substituyeron los valores de nivel registrados del 2 de septiembre de 2010 al 4 de agosto de 2011 con prácticamente 1 año continuo cuyas fluctuaciones mensuales se presentan en

la figura 3 y cuya suma acumulada en el periodo considerado de 295 días de registros asciende a 17.01 Hm<sup>3</sup>.

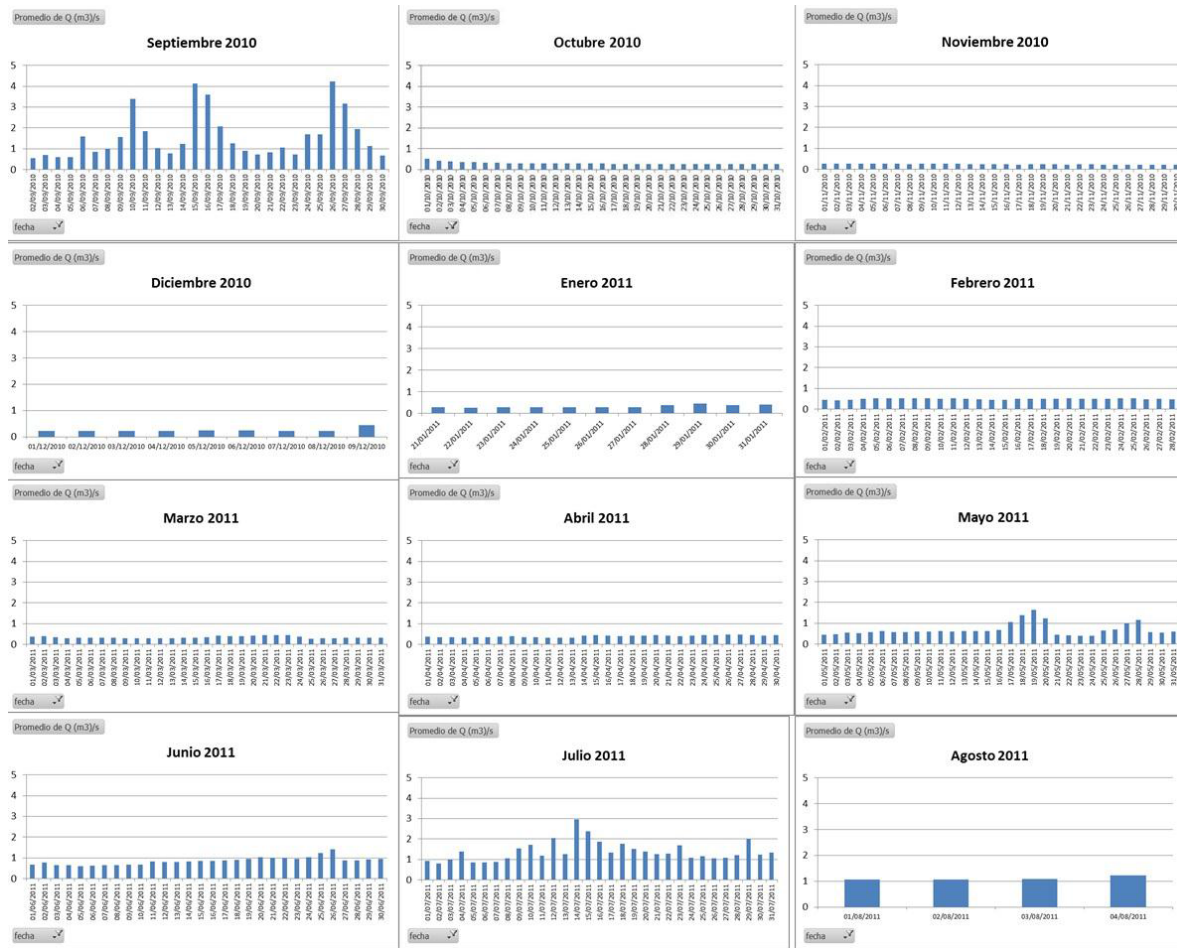


Figura 3. Promedios diarios de caudal registrados durante septiembre 2010-agosto 2011 en el dren Tzurumútaró.

Por otro lado, con base en la metodología basada en la NOM.011 para el periodo de 1 de agosto de 2010 al 31 de julio del 2011, la suma ponderada de precipitación en los 3 pluviómetros disponibles ascendió a 698.45 mm. El modelo de la NOM-011 estima en un escurrimiento total anual (Q total) de 0.14279 hm<sup>3</sup>, lo que resulta en una escasa diferencia de 0.03 hm<sup>3</sup> comparado con el resultado del método realizado para cada tormenta y su hidrograma triangular que en total asciende a un escurrimiento Q total= 0.17068687 hm<sup>3</sup>, lo que muestran una diferencia muy pequeña entre ambos métodos.

Estas diferencias se deben a que estos métodos no toman en cuenta los flujos basales que provienen del gasto de los manantiales que en la subcuenca de Tzurumútaró existen.

De acuerdo al escurrimiento medido en el dren se tiene que el escurrimiento anual equivale al 98.67% que es básicamente por los flujos basales de los manantiales que existen en la subcuenca de



Tzurumútaró y el resto 1.33% es el correspondiente al flujo superficial. Ante esto es recomendable realizar estudios que engloben los flujos superficiales y subsuperficiales para tener un mejor manejo de la subcuenca.

## 5 DISCUSION

Los métodos utilizados en este trabajo están basados en las características físicas de la cuenca (suelos, cobertura vegetal) y son útiles en la planeación y manejo de la cuenca, sobre todo en países subdesarrollados donde la red de aforos hidrométricos es escasa (Mendoza 2002). Sin embargo hay que buscar coeficientes de escurrimiento que tomen en cuenta más categorías de uso de suelo y vegetación para ajustar las estimaciones de escurrimiento en cuencas con diferentes tipos de uso y cobertura vegetal. Esto con la finalidad de que permitan la construcción de modelos más eficientes. Al interior de las cuencas la vegetación juega un papel fundamental, al mantener la calidad del agua, regular la cantidad y periodicidad de los cauces, mantener la estabilidad ambiental cuenca arriba-cuenca abajo, infiltrar agua para recargar los acuíferos, proteger al suelo, capturar CO<sub>2</sub>, controlar las inundaciones y ser refugio y proveedor de recursos para la fauna, por mencionar algunas de sus funciones más importantes (Matthews et al., 2000; Revenga et al., 1998 citado por Cotler 2011). En cuanto a la influencia de la vegetación con la intercepción de la precipitación, al caer sobre la copa de los árboles, son interceptadas o retenidas por sus hojas y ramillas y en consecuencia parte de la precipitación no llega al suelo (TRAGSATEC 1994). Entre los factores que influyen en este proceso pueden destacarse: la especie vegetal y su edad, el tipo de vegetación y las circunstancias del ambiente (Toledo 2005). Debido a que la precipitación es retenida por la vegetación reducen la intensidad con que llegan al suelo evitando así la erosión del suelo, además la cubierta de restos vegetales y húmicas, propias de la vegetación retrasan el punto de encharcamiento y por lo tanto el comienzo del flujo superficial.

En este trabajo se menciona que la subcuenca cuenta con más del 50% con uso agrícola, denotando la importante relación que tiene el tipo de suelo con el escurrimiento; ya que en ciertas partes de la subcuenca existen suelos con alta permeabilidad abasteciendo a los acuíferos de agua, que de otra forma se perdería por escurrimiento superficial, esto debido al cambio de la vegetación para su uso en la agricultura. Los problemas relacionados con el agua, la disminución de su cantidad, calidad y el aumento de los desastres se han venido registrando con mayor frecuencia. Considerando esto y que el funcionamiento de los ecosistemas naturales se basan en la interacción continua de todos sus elementos en tiempo y en espacio; es por tanto imposible solucionar un problema manejando solo uno de ellos. Por tanto, es conveniente que se realice un manejo integral de cuencas para entender las interrelaciones entre los recursos naturales, así como la forma en que se organiza la población para apropiarse de ellos. Así, la implementación del manejo integral de cuencas debe partir del supuesto de la cooperación y coordinación entre instituciones, implicando el compromiso entre el gobierno y una sociedad organizada (Cotler 2011).

## 6 CONCLUSIONES

El aforo del caudal en el dren Tzurumútaró es muy importante ya que nos ayuda a compararlos con los métodos indirectos, además si tomamos en cuenta que en el país la mayoría de ríos no están

aforados. Los datos obtenidos en campo siempre serán mejor por encima de los resultados obtenidos a través de los modelos, obteniendo así un mejor panorama sobre el estado de la subcuenca para posibles manejos posteriores.

Los modelos de Curva Numérica y la NOM-011 son muy útiles cuando no se cuentan con datos de aforos en las cuencas. Ofrecen una estimación de la condición hidrológica de la cuenca y manifiestan su importancia cuando se les compara con los resultados obtenidos del aforo.

Los métodos seguidos por dichos modelos se centran en los porcentajes que ocupan en las categorías del uso del suelo y la vegetación dentro de la subcuenca, sin embargo deberían tomar en cuenta los cambios que se dan en los cultivos, ya que hay algunos que requieren más agua que otros.

Los modelos deben tener la capacidad de funcionar razonablemente bien en las diferentes regiones y con diferentes características hidrológicas y ambientales. A pesar de las limitantes a las cuales están sujetos los modelos indirectos, constituyen una herramienta útil para evaluar de manera general el efecto en las modificaciones del paisaje derivadas del cambio del uso del suelo y la alteración de la vegetación en la respuesta hidrológica de una cuenca, lo que permite tener un panorama de su condición para poder implementar estrategias más adecuadas para su manejo.

En la subcuenca de Tzurumútaró es importante y necesario que se atiendan los distintos esquemas para mejorar las prácticas y manejo de sus recursos, ya que es una de las subcuencas más extensas donde se realizan procesos de fragmentación, erosión y cambio de uso de suelo y vegetación; afectando así los volúmenes de escurrimiento superficial dentro de ella. El aumento del escurrimiento puede beneficiar al incremento del espejo de agua en el lago de Pátzcuaro aunque también se incrementaría el arrastre de sedimentos al lago.

## 7 REFERENCIAS

- Campos-Aranda D.F. 2007. *Estimación y aprovechamiento del escurrimiento*. UASL. México 440 pp.
- CONAGUA. 2008. *Programa nacional Hídrico 2007-2012*. Edición 2008. México. 158 pp.
- CONAGUA. 2011a. *Agenda del agua 2030*. Edición 2011. México. 66 pp.
- CONAGUA. 2011b. *Estadísticas del agua en México*. Edición 2011. Agua en el mundo: 114 – 126.
- Córdova A. M. 2010. *Priorización de áreas para recuperar la función hidrológica de la subcuenca Támbula-Picachos, Guanajuato*. Tesis Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Querétaro, Querétaro. 210 pp.
- Cotler, A, H. 2011. *Las cuencas hidrográficas de México diagnóstico y priorización*. 1ª. Edición. México. 232 pp.
- Cuevas F.L., Tejeda S.D., García C.J.S., Guerrero H.J.A., González O.J.C y H. Hernández M. 2007. *Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras prácticas*. CONAFOR-SEMARNAT. México. 296 pp.

- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Quinta edición. México, D.F. 220 pp.
- IMTA 1999. *Instructivo para aforo con molinete*. 2ª. Edición. IMTA-SEMARNAP. 59 pp.
- IMTA 2002. *Estimación del impacto de las descargas del Dren Tzurumútaró en el Lago de Pátzcuaro y alternativas de tratamiento*. Informe técnico. IMTA. 215 pp.
- INEGI. 1985. *Síntesis Geográfica de Michoacán*. México. D.F. 315 pp. INEGI. 2004. *Guía para la Interpretación de Cartografía*. México. 30pp.
- López, C. de Ll. F. 1994. *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. 902 pp.
- Mendoza, C. M. E. 2002. *Implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en el balance hídrico a nivel regional. El caso de la cuenca del Lago de Cuitzeo*. Tesis Doctoral. Instituto de Geofísica. UNAM. 188 pp.
- Norma oficial Mexicana NOM-ECOL-001-1996. Diario Oficial de la Federación. Miércoles 17 de abril de 2002.
- Toledo, A. 2005. *Agua, hombre y paisaje*. Instituto Nacional de Ecología. 259 pp.
- TRAGSATEC, 1994. *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Madrid. 902 pp
- [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#). Consultado el 13/01/2012.



# CONTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DEL SUELO (SCS-USDA) AL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DE UNA PEQUEÑA CUENCA SEMIÁRIDA.

Miguel Agustín VELÁSQUEZ VALLE<sup>1</sup>, Ignacio SÁNCHEZ COHEN<sup>1</sup>, Gerardo ESQUIVEL ARRIAGA<sup>1</sup>, Palmira BUENO HURTADO<sup>1</sup> y Jesús A. MUÑOZ VILLALOBOS<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> CENID-RASPA INIFAP. Km. 6.5 Margen derecha Canal Sacramento. 35140. Gómez Palacio, Dgo. MÉXICO. [velasquez.agustin@inifap.gob.mx](mailto:velasquez.agustin@inifap.gob.mx)

## RESUMEN

Los pastizales de la selva baja caducifolia del sur del estado de Zacatecas se encuentran sobrepastoreados en 2.5 veces más de su capacidad, ocasionando con ello una baja disponibilidad de forraje y sobre todo las pérdidas de agua y suelo. La falta de información del comportamiento hidrológico limita la toma de decisiones en el manejo de sus recursos naturales. Por ello, es indispensable utilizar aquellas bases de datos del comportamiento hidrológico disponibles para parametrizar modelos de simulación, evaluar escenarios de manejo y seleccionar aquellas prácticas (BMP) que aseguren la sostenibilidad de los recursos naturales del pastizal. El objetivo de este trabajo fue hacer una evaluación del comportamiento hidrológico de las diferentes condiciones de la cuenca de pastizal La Cruz, en el estado de Zacatecas, utilizando el Modelo TR-55. La cuenca tiene una superficie de 46.8 hectáreas y cuenta con una estación climatológica y otra de medición del flujo en el cauce a 1920 metros del parteaguas superior. La cuenca está dividida en cuatro potreros de 4.8, 6.0, 12.0 y 24.0 hectáreas cada uno de ellos. El modelo TR-55 utiliza el método de curva numérica (SCS, USDA) para calcular la lámina escurrida (mm). Por las condiciones hidrológicas de cada potrero (pobre, regular o buena), se asignó a los potreros un valor de curva numérica (CN) de 80, 84, 84 y 89, respectivamente. Para determinar el impacto de las condiciones de manejo anteriormente señaladas se seleccionaron 7 eventos de precipitación pluvial de diferente magnitud. Según el criterio de Nash y Sutcliffe, (1970) la eficiencia del modelo TR-55 para calcular la lámina escurrida fue de 0.91. Los resultados generados muestran que la condición hidrológica buena (CN = 80) en 4.8 has dentro de la cuenca (10.3%) contribuye en promedio con el 8.7 % del escurrimiento superficial; mientras que la condición media con un valor de CN de 84 (38.4% de la superficie de la cuenca) contribuye con el 63.2% y el resto de la superficie 24 has (51.3%) y un valor de CN de 89 aporta en promedio con el 28% de la escorrentía superficial de la cuenca.

**Palabras clave:** Esgurrimiento, Modelo TR – 55, Hidrograma, Pastizal, Pérdidas de agua.

## 1 INTRODUCCION

El estado de Zacatecas está localizado en la parte norte-centro de México y tiene una superficie de 7.5 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente 5 millones de ellas son utilizadas en sistemas de producción caracterizados por la ganadería extensiva, registrando un total 895 mil cabezas para el año 2011 (SIAP, 2013) El resto de la superficie del estado se encuentra en condiciones de aridez por lo que dificulta el desarrollo de esta actividad. En el sur del estado, se encuentra la selva baja caducifolia la cual representa el 4.7 % de su superficie y en la que el grado

de degradación de los recursos naturales en este ecosistema es alarmante; por ejemplo, para el año 2000 del total de la superficie de pastizales en esta región, el 56.9 % se encuentran degradados debido principalmente por el fenómeno de la erosión hídrica 43.6% y el sobrepastoreo es la principal causa de su degradación (Márquez *et al.*, 2009). Bajo estas condiciones, se ha estimado que los pastizales se encuentran sobrepastoreados en 2.5 veces más de su capacidad ocasionando con ello la pérdida de la cobertura vegetal del suelo, bajas tasas de infiltración e incrementos en la cantidad de suelo perdido (Sánchez, 1984).

Aunado a lo anterior, las condiciones fisiográficas de la región y la ocurrencia de eventos torrenciales durante la época de lluvias provocan que la mayor parte de la lámina precipitada se vuelva lámina escurrida. En este contexto, tanto para el consumo por las plantas, especies animales y para el mismo consumo humano el agua que transita en los arroyos y cauces y desemboca en del Río Juchipila es agua que se pierde. Ante esta situación, es imperante diagnosticar las causas y efectos que determinan las relaciones agua-suelo-planta en el comportamiento hidrológico a diferentes escalas de espacio y tiempo. Dentro de una cuenca, la generación del escurrimiento es dinámica en tiempo y variable en espacio, lo cual hace difícil identificar aquellas áreas que contribuyen en mayor parte al escurrimiento que otras (Srinivasan *et al.*, 2005).

En términos hidrológicos el concepto *área fuente* ha sido adoptado para referirse a partes de la cuenca dónde existen áreas saturadas que comúnmente se forman donde convergen el flujo subsuperficial lateral, o donde cambia la pendiente o donde la profundidad a la capa de limitante disminuye (Frankenberger *et al.*, 1999). Aunque con el uso de modelos no distribuidos o con el análisis del hidrograma se puede determinar el área o porcentaje de la cuenca que contribuye al escurrimiento, en la actualidad algunos modelos semi-distribuidos dividen la superficie de la cuenca en unidades de respuesta hidrológica para estimar la variable de interés. Se ha reportado el uso de algunos modelos como el SWAT o SMDR para determinar las áreas generadoras de escurrimiento y con ello determinar posibles fuentes de contaminación de Fósforo hacia cuerpos de agua (Srinivasan *et al.*, 2005).

En una escala espacial, la atomización de la superficie de los pastizales en la región del Juchipila por la tenencia de la tierra dentro de pequeñas unidades hidrológicas (cuencas) ha ocasionado que el comportamiento hidrodinámico del suelo varíe de una propiedad a otra en función del manejo del pastizal; dificultando con ello el entendimiento de la respuesta hidrológica de éstas unidades. El objetivo del presente trabajo es determinar el porcentaje de contribución o el área fuente de escurrimiento por potreros a la lámina total escurrida de una pequeña cuenca de pastizal considerando el manejo del mismo y el uso del Modelo TR – 55.

## **2 MATERIALES Y METODOS**

El presente estudio se desarrollo considerando como unidad experimental una pequeña cuenca con uso pecuario localizada al sureste en el estado de Zacatecas. La cuenca cuenta con información pluviométrica h hidrológica diaria, edafológica, y de manejo de los recursos naturales. Se asume que el volumen total escurrido aforado en esta cuenca es la respuesta hidrológica al manejo del pastizal dentro de la cuenca.

### *Descripción del área de estudio.*

La cuenca experimental “La Cruz” se encuentra ubicada en el Municipio de Tabasco en el Estado de Zacatecas y se localiza entre los 102° 59’ y los 103° 09’ LO y entre los 21° 51’ y los 21° 52’ LN y con una altitud de 1700 msnm. El clima se clasifica como semiseco-semicálido (BS<sub>1</sub> hw (w)). La precipitación promedio anual es de 624 milímetros; de los cuales el 90% se precipita en el periodo entre los meses de junio a noviembre. La vegetación de la cuenca es matorral sub-inerme con pastizal natural (Figura 1). En el estrato arbóreo se presentan especies como ozote (*Ipomea intrapilosa* Rose) y mezquite (*Prosopis* sp.); el estrato arbustivo está representado por especies de los géneros *Tysenhartia* sp. (varaduz) y *Mimosa* sp (huizcolote) y en el estrato basal se encuentran especies de pastos como navajita (*Bouteloua hirsuta*) y banderita (*B. curtipendula*). Las unidades de suelos presentes en la cuenca son Regosol calcárico y Castañozem háplico (Clasificación de la FAO, 2003). Los suelos están caracterizados por ser someros, de textura media y con una fase pedregosa (Velásquez y Serna, 1994).

### *Instrumentación*

La cuenca “La Cruz” cuenta con una estación climatológica ubicada en la parte alta de la misma para el registro de variables de temperatura, evaporación y precipitación pluvial a una escala diaria; así como, una estación de aforo con un vertedor para flujo supercrítico tipo *Santa Rita* y un limnógrafo FUESS de vuelta semanal para estimar el volumen escurrido (Figura 2).



**Figura 1.-** Condición del pastizal de la selva baja caducifolia en la Cuenca La Cruz en el Municipio

de Tabasco, Zacatecas.

### *Manejo del pastizal.*

La tenencia de la tierra dentro de la cuenca La Cruz corresponde en su totalidad a la propiedad privada. Por esta razón la superficie de la cuenca se encuentra dividida en cuatro potreros de diferente propietario (Figura 3). La condición del pastizal de cada uno de ellos varía en función de la intensidad en el uso de la vegetación nativa. Por ejemplo, el potrero I cuenta con una superficie de 4.8 hectáreas y no se encuentra en uso debido a que el dueño del mismo no se encuentra como residente en la región; El potrero II tiene una superficie de 12 hectáreas, se encuentra en uso y con una condición regular, el potrero III (6 hectáreas) es el que se encuentra más alejado a la estación de aforo, se encuentra en uso pero por su superficie y pendiente del terreno la condición del pastizal es regular mientras que el potrero IV presenta la superficie de la cuenca (24 hectáreas) con mayor grado de deterioro ya que su dueño renta su agostadero a varias personas al mismo tiempo. Es importante señalar que en ningún potrero se realizan prácticas de manejo de pastizales ó practicas de conservación de suelo y agua.

### *Descripción del Modelo TR-55*

El Modelo WIN TR-55 es un modelo hidrológico para uso en pequeñas cuencas. El modelo genera hidrogramas a partir de información de cuencas con diferentes usos de suelo y de puntos seleccionados en el cauce de las mismas. Los hidrogramas pueden ser calculados siguiendo el tránsito del flujo. La modelación puede realizarse para varias sub-áreas dentro de la cuenca seleccionada. En el Cuadro 1 se presenta de manera general algunas de las características del Modelo WIN TR-55. Para estimar la lámina escurrida (mm) por potrero y a la salida de la cuenca el Modelo utiliza el método de Curva Numérica (CN) desarrollado por el USDA-SCS (1972).

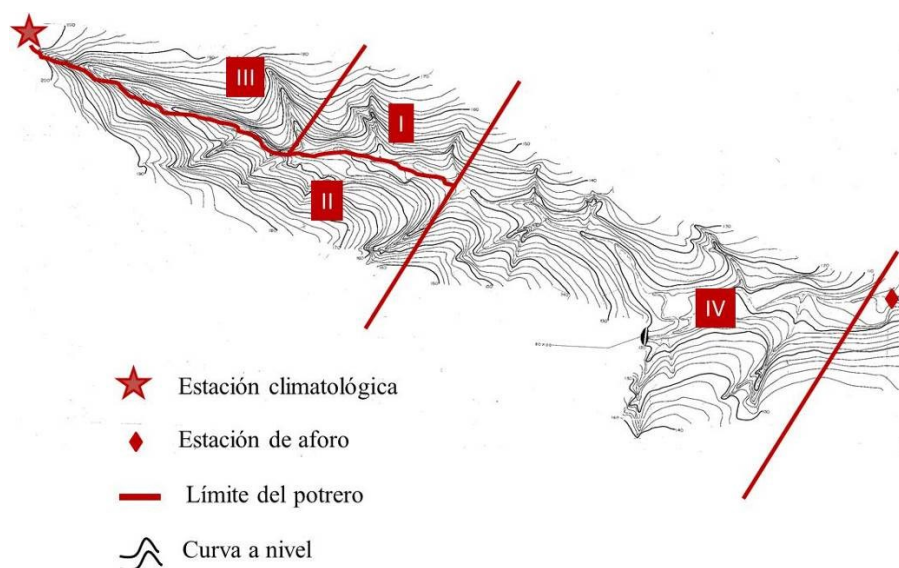


**Figura 2.-** Aforador para flujo supercrítico Santa Rita en el cauce a la salida de la cuenca La Cruz.



### Contribución espacial al escurrimiento

Para determinar el área fuente de escurrimiento dentro de la cuenca La Cruz se procedió a parametrizar el modelo TR – 55 para cada uno de los potreros con parámetros relacionados con aspectos morfológicos de la cuenca. En función a esto, con la información de salida del modelo se calculó la lámina escurrida (mm) para cada potrero y a la salida de la cuenca para varios eventos de precipitación registrados y aforados en este sitio. Con esta base de datos generada se obtuvo el porcentaje de contribución de cada uno de los potreros al hidrograma de la cuenca.



**Figura 3.-** División de potreros, estación climatológica y de aforo dentro de la Cuenca La Cruz.

**Cuadro 1.-** Generalidades que caracterizan y limitan la aplicación del Modelo WIN TR -55.

Variable	Características
Área mínima	> 0.5 ha.
Área máxima	6, 500 hectáreas
Número de subcuencas	1 a 10
Tiempo de concentración para cualquier subcuenca	$0.1 \text{ hora} \leq T_c \leq 10 \text{ horas}$
Número de arroyos	0 a 10
Magnitud de la precipitación	0 a 1 270 mm
Tipo de distribución de la precipitación	Tipo NRCS I, IA, II y III
Tiempo de duración de la tormenta	24 horas
Condición de humedad antecedente	Promedio (CN II)
Método de calculo del escurrimiento superficial	Curva Numérica (SCS)

### 3 RESULTADOS Y DISCUSION

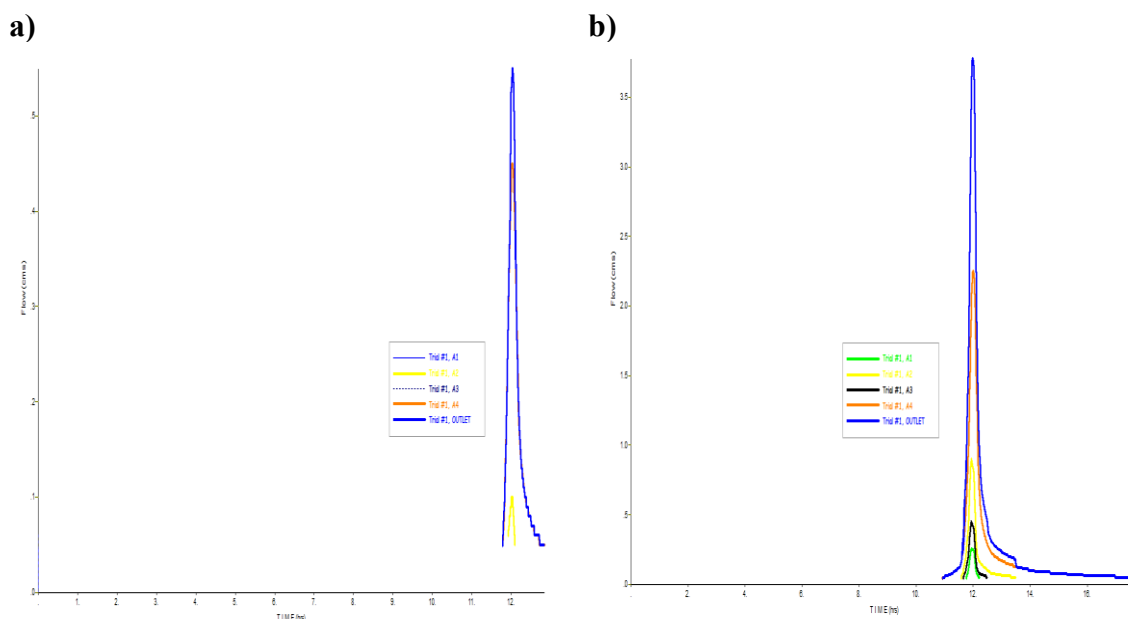
La respuesta hidrológica de los cuatro potreros (trial) y a la salida de la cuenca La Cruz (outlet) se obtuvo de manera porcentual con el Modelo TR – 55 en forma de lámina escurrida y de hidrogramas para seis eventos de precipitación de diferente magnitud (22.3, 25.1, 30.4, 37.4, 49.5 y 65.2 mm) registrados en la estación climatológica de la cuenca. A manera de calibración del modelo se encontró que los valores simulados se aproximaron a los observados en la estación de aforo. Considerando el concepto de eficiencia del modelo según Nash y Sutcliffe, (1970) se obtuvo un valor de 0.91 entre los valores observados y los simulados por el modelo; por lo que se considera como aceptable la capacidad predictiva del Modelo TR - 55. De acuerdo con los valores de la lámina escurrida para cada evento se encontró que para eventos de precipitación menores a 17 mm en 24 horas no se obtuvo respuesta como escurrimiento en toda la cuenca lo cual se atribuye al escaso número de tormentas y al bajo contenido de humedad antecedente (CN I) previos al evento señalado. El Modelo TR -55 considera un contenido de humedad antecedente promedio (CN II); lo que facilita que con lluvias mayores a 17 mm pero menores de 30 mm ocasionan que sólo una parte de la cuenca contribuya al escurrimiento superficial que se registra en la estación de aforo de la cuenca como puede observarse en la Figura 4a calculándose que sólo los potreros II y IV generaron una lámina escurrida. A pesar de encontrarse en la parte media de la cuenca el potrero I requiere láminas precipitadas mayores a 30 mm para aportar escurrimientos al cauce principal, lo anterior debido a su buena condición hidrológica (cobertura vegetal del suelo mayor al 75%).

En promedio se observa en el Cuadro 2 que los potreros II y IV contribuyen en mayor proporción al escurrimiento que genera la cuenca con el 79.7% de la lámina total escurrida. Es importante señalar que aparte de estar más cerca del aforador, la condición hidrológica del potrero IV es más pobre que el resto de la cuenca a causa del sobrepastoreo. Esta condición de estado actual del pastizal favorece un decremento en la velocidad de infiltración y una mayor susceptibilidad a la degradación física por el proceso de erosión hídrica (Sánchez, 1984,

Cuadro 2.- Valores porcentuales de la contribución por potrero al escurrimiento superficial de la Cuenca La Cruz, Zacatecas.

Precipitación (mm)	Potreros				Suma
	I	II	III	IV	
22.3	0.00	14.33	0.00	85.67	
25.1	0.00	16.47	12.67	70.86	
30.4	4.04	20.50	15.62	59.84	
37.4	8.21	22.11	17.22	52.46	
49.5	11.23	23.84	19.08	45.85	
65.2	13.87	25.05	20.04	41.04	
<i>Promedio</i>	6.2	20.4	14.1	59.3	100%

Con el propósito de encontrar algunas practicas de manejo del pastizal para modificar el comportamiento hidrológico de los potreros (reducir la lamina escurrida para favorecer la disponibilidad para las especies clave del pastizal) es necesario relacionar los resultados obtenidos en este estudio con aspectos morfológicos de la cuenca; así como con algunas propiedades físicas e hidrodinámicas del suelo dentro de la cuenca.



**Figura 4.-** Hidrogramas de salida del Modelo TR – 55 para eventos de precipitación de 22.3 (a) y 49.5 mm (b) en la cuenca de pastizal la Cruz, Zacatecas.

#### 4 CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en este estudio se pueden hacer las siguientes conclusiones sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca La Cruz. Con los parámetros obtenidos en base a la información disponible para correr el Modelo TR – 55 se considera que su capacidad predictiva es aceptable utilizando como criterio el valor de la lámina escurrida aforada y la simulada por el modelo. Se encontró que la cuenca tiene un comportamiento diferencial en función de la magnitud de los eventos de precipitación y del área de las unidades de respuesta hidrológica (potreros). En el caso particular de esta cuenca los potreros II y IV con una condición hidrológica de regular y mala contribuyen con 20.4 y 59.3% del escurrimiento aforado en la salida de la cuenca, respectivamente. Por otro lado, es necesario realizar una mayor investigación para definir relaciones causa-efecto del comportamiento hidrológico con la geomorfología y aspectos edafológicos del al cuenca.

#### 5 REFERENCIAS

CETENAL. 1974. Cartas edafológicas F-13-D-16 (Tlaltenango) y F- 13 – D – 17 (Calvillo). SPP. México.

- FAO-UNESCO. 1990. Mapa mundial de suelos, leyenda revisada. Versión en español, preparada por la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Roma, Italia.
- Frankenberger, J. R., E. S. Brooks, M. T. Walter, M. F. Walter and T. S. Steenhuis. 1999. A GIS-based variable source area hydrology model. *Hydrol. Process.* 13: 805 - 822.
- Márquez, M. M., R. R. Ruíz G., R. D. Valdez C., F. Blanco M. y V. G Pérez P. 2009. Estado de degradación del suelo en los pastizales de la cuenca del río Juchipila. Manejo sustentable de Pastizales. *In: Memorias del VI Simposio Internacional de Pastizales.* 4 al 7 de Noviembre de 2009. Monterrey N. L. Mexico.
- Sánchez, B., C. 1984. Effects of livestock grazing and exclusion on infiltration and sediments yields for different range sites on El Plateado Watershed. Zacatecas, México. Ph. D. Dissertation. New Mexico State University. Las Cruces, NM. U.S.A.
- SIAP (Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera) .2013. Ganadería. Población ganadera. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>. Consultado el 23 de febrero de 2013.
- Srinivasan, M. S., P. Gérard-Marchant, T. L. Veith, W. J. Gburek, and T. S. Steenhuis. 2005. Watershed scale modeling of critical source areas of runoff generation and phosphorus transport. *Journal of the American Water Resources Association.* 41: 361 – 375.
- Velásquez, V., M. A. y A. Serna P. 1994. Caracterización hidrológica de una cuenca de pastizal con pastoreo continuo. *TERRA.* 12: 273 – 281.
- USDA-SCS (US Department of Agriculture – Soil Conservation Service) 1972. National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. Chapter 10, Estimation of direct runoff from storm rainfall. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C., pp. 10.1-10.24.

# ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN DEL DREN TZURUMÚTARO AL LAGO DE PÁTZCUARO, MICHOACÁN, MÉX.

José Álvaro SAN AGUSTÍN<sup>1</sup>, Rubén I. HUERTO D.<sup>2</sup> y Alfredo AMADOR G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edificio R. CU. C.P. 59800. Morelia, Mich. Tel y Fax (443) 3167412 [amador.umich@gmail.com](mailto:amador.umich@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental. Paseo Cuahunahuac 8532, Progreso Jiutepec, C.P. 62550 Morelos, México. Tel y Fax (777) 3293665 Y 3293600 EXT.385 [rhuerto@tlaloc.imta.mx](mailto:rhuerto@tlaloc.imta.mx)

## RESUMEN

La importancia de los sedimentos en suspensión en cauces perennes e intermitentes radica en que son un buen indicador de las alteraciones del cauce y en general de la condición de la superficie de la cuenca, que de manera continua y por la acción de diferentes agentes desprende y arrastra materiales que son arrastrados o transportados en suspensión desde las partes altas y medias hacia la parte baja de las cuencas. En este caso, el área de estudio es una subcuenca que contribuye con volúmenes significativos de agua y sedimentos al Lago de Pátzcuaro, en el estado de Michoacán, que además de ser una región biológica y culturalmente emblemática para el país, desde el punto de vista socioeconómico cuenta con una importante actividad agropecuaria y una problemática ambiental relacionada con los procesos de erosión y sedimentación. La subcuenca del dren Tzurumútaró presenta un cauce perenne que se origina del gasto de manantiales que son aprovechados en dichas prácticas agrícolas. Por esta razón y para evitar anegamientos con los eventuales incrementos en el nivel del lago, es que fue construido dicho dren en los años 1950's.

En el presente trabajo se realizó la medición del aporte de carga de sedimentos en suspensión que llegan por el dren Tzurumútaró al lago de Pátzcuaro. Se obtuvieron diversos parámetros morfométricos de la subcuenca y las magnitudes de la precipitación y los escurrimientos superficiales en la misma, para el periodo agosto de 2010-julio de 2011. Se obtuvieron muestras de los sedimentos en suspensión de manera periódica y se relacionaron mediante un modelo empírico con la estimación de precipitación y las mediciones de caudal en el punto de drenaje de la subcuenca.

Los valores obtenidos van de 0.1 a 0.3 g/l de sedimento en condiciones de estiaje y lluvia respectivamente, con caudales entre 0.3 y hasta 2.5 m<sup>3</sup>/s, mostrando el modelo empírico un ajuste con R<sup>2</sup>= 0.709. Esas cifras conducen a estimar en 5 tons promedio diarias de arrastre de sedimentos en suspensión entre 2010 y 2011. Sin embargo, durante el periodo de registros, se obtuvieron estimaciones de hasta 1.2 g/l de sedimentos en suspensión en abril-mayo de 2011 y que se excluyen del modelo de comportamiento "normal" obtenido, en virtud de que no obstante corresponden a periodo de estiaje, también corresponden a los efectos del dragado de limpieza del dren. Resalta también la estimación de un periodo singularmente lluvioso en la cuenca, con valores de hasta 20 tons. de sedimentos diarios en septiembre de 2010.

## 1 INTRODUCCION

De acuerdo con Campos-Aranda (2010) la estimación de la aportación de sedimentos se base en la erosión total o en mediciones hidrométricas de transporte de sólidos. Generalmente se obtiene en unidades de peso por unidad de tiempo. Los factores que influyen en el peso específico de los

sedimentos depositados en un embalse son diversos, pero los más importantes son: (1) la manera en la cual el embalse es operado, (2) la textura y tamaño de los sedimentos, (3) la velocidad de compactación o consolidación y (4) las corrientes de densidad y la pendiente del cauce al entrar al vaso. Respecto a la textura y tamaño de las partículas de sedimentos, la primera se refiere a la porción de arcilla ( $>0.004\text{mm}$ ), limo ( $0.004$  a  $0.0625\text{ mm}$ ) y arena ( $0.0625$  a  $2.00\text{ mm}$ ) y en general los sedimentos con predominio de arena son más pesados que los arcillosos. Contrariamente a la creencia general, los sedimentos no siempre se depositan en las partes bajas de los embalses, sino que lo hacen en diferentes áreas del vaso. Los factores que determinan como se distribuyen los sedimentos dentro del embalse son los mismos que condicionan su eficiencia de retención.

La Microcuenca de Tzurumútaró es de gran importancia dentro de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro ya que con sus 14,487 ha de extensión, es la segunda unidad más extensa apenas seguida por la microcuenca Ajuno. Por sus características morfológicas e hidrológicas, representa el principal aporte de escurrimientos superficiales al lago. Adicionalmente es la microcuenca con mayor superficie absoluta y relativa de actividades agropecuarias en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro. También, después de las microcuencas Ajuno y Pátzcuaro es la unidad territorial con mayor problema de erosión, habiéndose estimado que en aunque en promedio se pierdan solo 20 ton/ha al año, existan estimaciones de que en determinadas condiciones en la microcuenca se llegan a perder más de 350 ton/ha/año.

El Dren Tzurumútaró constituye el cuello de botella del ciclo hidrológico de dicha microcuenca ya que conduce todos los escurrimientos superficiales de esta gran superficie con problemática variada, justo a una de las áreas del lago con mayores concentraciones de hidrófitas: el seno de Ihuátzio. Lo anterior justifica la concentración de buena parte del presente estudio en dicha cuenca.

## **2 METODOLOGIA**

Para lograr un mejor conocimiento de los procesos reales de transporte de sedimentos en los ríos es indispensable incrementar los programas de aforos líquidos y sólidos. A excepción de las cuencas de algunos ríos importantes que cuentan con abundantes registros de lluvias, caudales y sedimentos, en la mayoría de los casos los registros son escasos o nulos.

A pesar de sus limitaciones, la determinación de la carga de sedimentos en suspensión en una estación por medio de mediciones sistemáticas con muestreadores de sedimentos, representa un índice aceptable, muy utilizado, a nivel anual aunque es discutible su aplicación para períodos cortos.

Los ríos poseen una capacidad natural de transporte de sedimentos. Cualquier obra que los afecte modificará también su capacidad de transporte lo cual inducirá cambios en los procesos de sedimentación y erosión que ocurren en el tramo de influencia de la obra. Se muestrearon sedimentos en suspensión con un dispositivo de torre con 3 alícuotas de 0.75 lts.. La torre con muestras puntuales se inserta en 5 puntos distribuidos a lo ancho del dren o cauce y las muestras son llevadas al laboratorio. En laboratorio se filtraron, secaron y pesaron las muestras de las alícuotas obtenidas en campo para obtener la carga de sedimentos.

El monitoreo del Dren Tzurumútaro se realizó en su punto de intersección con la carretera Pátzcuaro-Quiroga. En 2010 se realizaron 10 campañas (del 15 de junio al 10 de agosto) a lo ancho de la sección transversal definida, midiendo velocidades de flujo y obteniendo muestras de sedimento en suspensión. En 2011 de febrero a agosto se muestrearon estos mismos aspectos con regularidad semanal pero en una sección transversal distinta. La medición de velocidad a distintas profundidades y a distintas distancias de la orilla se realizó con flujómetro FlowMate facilitado por el IMTA y se instrumentó el registro continuo de nivel de tirante de la corriente con dispositivos Leveloger de la marca GlobalWater.

Se obtuvo un modelo de regresión binomial desarrollado para los registros de flujo y carga de sedimentos en 2010 y otro para los registros de 2011 en virtud de tratarse de datos provenientes de secciones transversales diferentes. Con dichos modelos empíricos se substituyen los valores de nivel registrados cada 10 minutos en el leveloger con lo que se obtiene una estimación continua tanto de caudal como de carga de sedimentos en suspensión para casi todo un año (295 días de registros). Se implementó luego un análisis de varianza (ANDEVA) de una sola vía primero para demostrar que las diferencias y tendencias observadas en los promedios de carga de sedimentos por subsecciones del dren no son debidas al azar, sino que se debe principalmente al desprendimiento y arrastre de sedimentos de las paredes y fondo de los canales.

### 3 RESULTADOS

Durante los registros de 2010, en la parte final del mes de Julio la profundidad del cauce se incrementó en casi 40 cm con respecto a su tirante medido en Mayo, mientras que en la porción más lluviosa de la temporada en el mes de Agosto la profundidad de la sección se incrementó más de 0.5 m con respecto al nivel inicial. Ello generó un flujo en ambos márgenes del cauce por encima de las poblaciones de hidrófitas arraigadas que frenaban al principio del periodo lluvioso de manera significativa el curso del agua en el Dren.

El registro de velocidades a diferentes profundidades del dren en fecha 06/08/2010 muestra el mayor incremento en las estimaciones de caudal como se asienta en el Cuadro 1 y como se señalará adelante, el mayor arrastre de sedimentos.

Cuadro 1. Caudal en el Dren Tzurumútaro, medido *en la campaña del 6/08/2010*.

Sección	Vel. Mínima (m/s)	Vel. Max. (m/s)	Promedio (m/s)	Q	Área (m <sup>2</sup> )
I	0.0902	0.53	0.35	1.52	4.330
II	0.0902	0.0902	0.0902	0.64	7.137
III	0.3	0.3041	0.3005	0.07	0.241
<b>2.23 m<sup>3</sup>/s</b>					

La Figura 2 muestra la variación de perfil de las sub-secciones de la sección transversal de muestreo hasta el 17 de julio en que las comunidades de hidrófitas reducían el flujo del cauce.

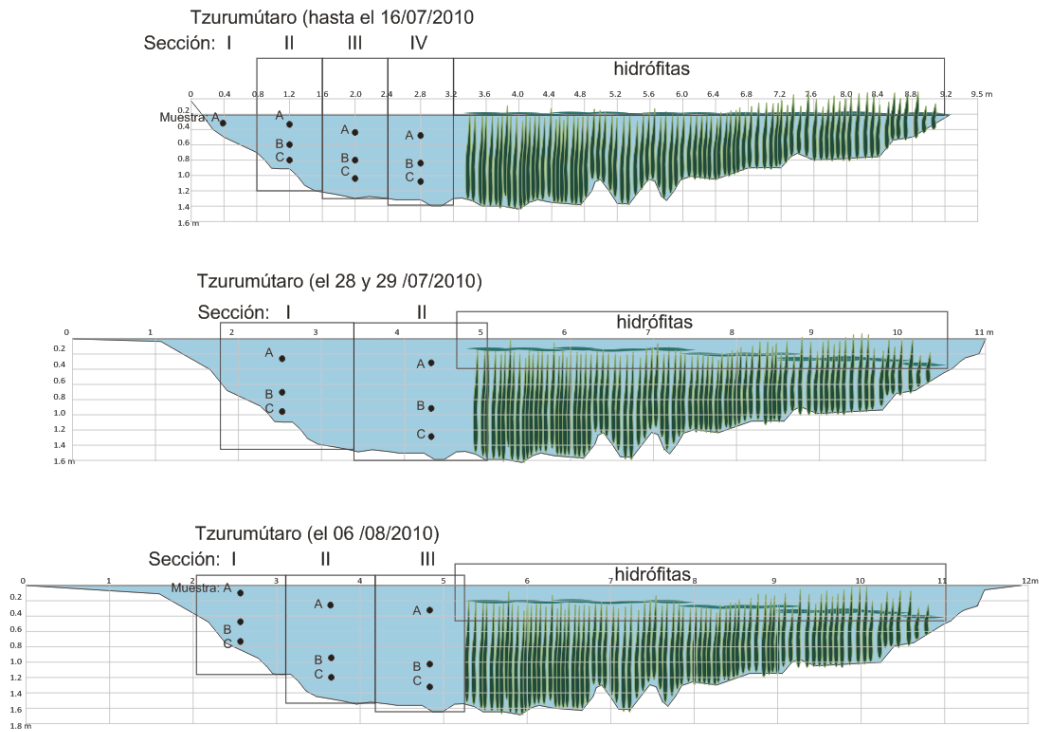


Figura 2. Condiciones de profundidad y ancho del cauce en el Dren Tzurumútar de Junio a Agosto de 2010.

La figura 3 muestra la variación de velocidades de flujo observados de junio a julio de 2010

Graficando el promedio y la desviación estándar de los valores de sedimentos en cada muestra puntual a lo largo del periodo de observación, se distingue un amplio rango de variación. En principio es evidente que existen diferencias dentro de los mismos puntos de las secciones 1 a 4, es decir de la orilla hacia el centro del cauce. También se observan dichas diferencias en las variaciones de los valores promedio de sedimentos medidos al 20, 60 y 80% del nivel de profundidad.



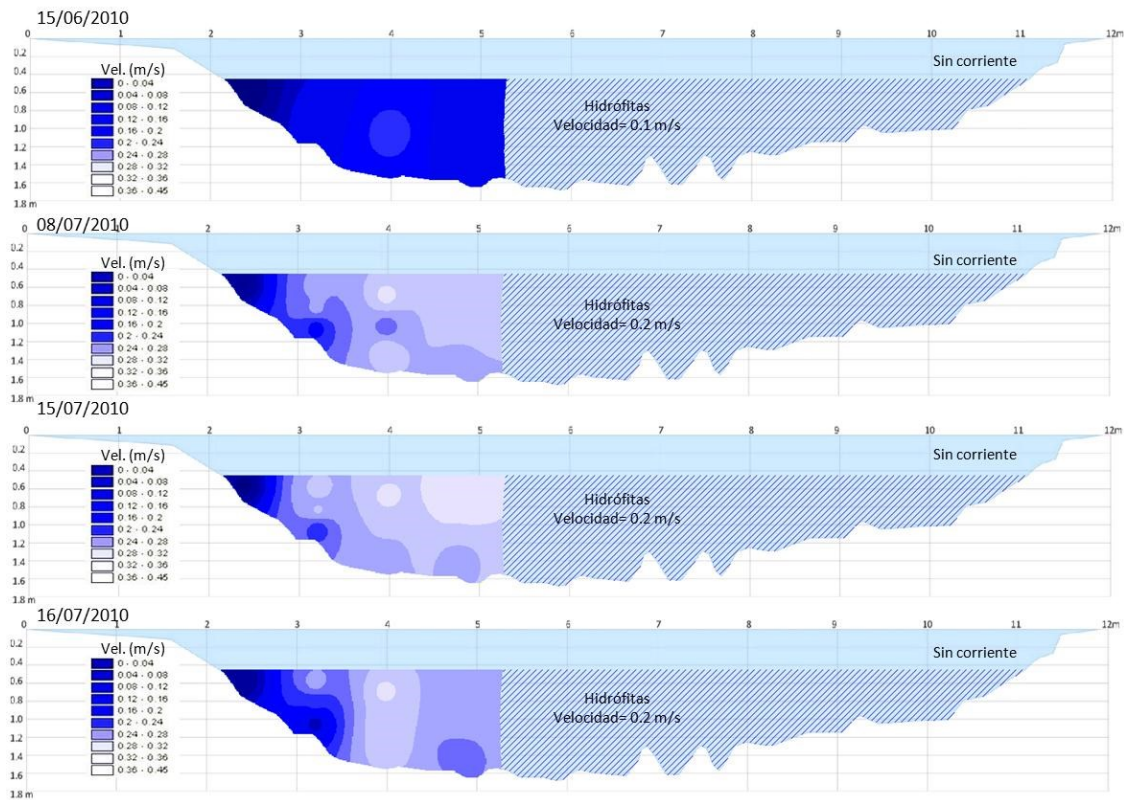


Figura 3. Condiciones de velocidad de flujos en el Dren Tzurumútarro de Junio a Julio de 2010

Como señala la bibliografía, son los márgenes de los cauces y las porciones más superficiales así como las más profundas las que transportan más sedimentos. Con una prueba estadística comparativa que se presentan en el siguiente apartado, se pone en evidencia las significancia de dichas tendencias diferenciadas por profundidad y proximidad al margen.

Los valores de carga de sedimentos obtenidos por fecha y subsección (Muestra) durante 2010 se presentan de manera gráfica en la Figura 3.

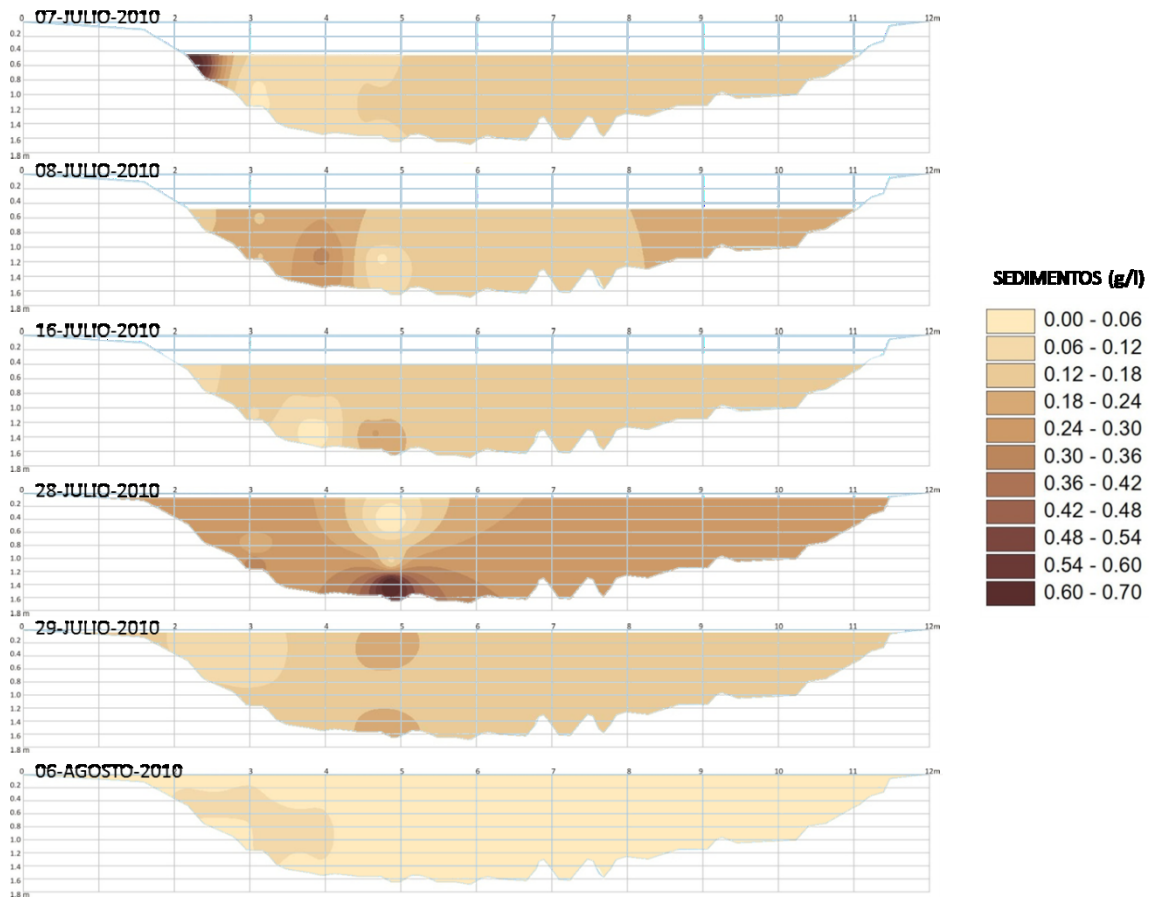


Figura 3. Marcha de la Carga de Sedimentos en el dren Tzurumútar (g/l) hasta antes de las crecidas de nivel (16/07/2010).

Por otra parte, el primero de los ANDEVAS toma en cuenta los valores de sedimento observados por proximidad al margen del cauce y con una  $p=0.51$  los resultados no muestran diferencias significativas, señalando además que la fuente de variación más importante está dentro de los grupos (Cuadro 2). Con una significancia como la obtenida para la prueba ( $p=0.51$ ) no se puede descartar que los resultados obtenidos pueden deberse solo del azar.

Cuadro 2. ANDEVA, sedimentos por proximidad al margen del cauce.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.031	3	0.01	<b>0.765</b>	0.518	<b>2.748</b>
Dentro de los grupos	0.87	64	0.01			
Total	0.901	67				

Del mismo modo, cuando se prueba la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre los sedimentos muestreados a diferentes profundidades (Cuadro 3), no puede decirse que se acepta a  $H_0$  ya que  $p=0.72$ . Asimismo, la principal fuente de variación está dentro de los grupos que para estos ejercicios se limita a las muestras obtenidas en las fechas señaladas.

Cuadro 3. ANDEVA, sedimentos por profundidad

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.011	2	0.01	<b>0.321</b>	0.727	<b>3.195</b>
Dentro de los grupos	0.835	47	0.02			
Total	0.846	49				

Tal es la importancia de la variación de los resultados dentro de los grupos que al realizar el mismo ejercicio agrupando ahora los valores de sedimentos por fecha, se observan diferencias significativas con una  $p=0.03$  que descarta la probabilidad de que estos mismos resultados se obtengan al azar (cuadro 4).

Cuadro 4. ANDEVA, sedimentos por fecha de muestreo.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.194	5	0.039	<b>2.629</b>	0.036	<b>2.427</b>
Dentro de los grupos	0.651	44	0.015			
Total	0.846	49				

Sin embargo, la interpolación de los valores medidos en las fechas señaladas, muestran precisamente una distribución o arreglo espacial de la carga de sedimentos como lo señala la literatura.

Ahora se procede a obtener un modelo empírico que mejor se ajuste a los valores de sedimento registrados durante los muestreos de campo. Se presenta en la Figura 4 la gráfica de ajuste de caudal ( $m^3/s$ ) vs. Sedimento ( $g/l$ ). Aunque el modelo empírico solo se basa en 5 valores promedio, estos son el resultado de números muestreos a diferentes profundidades y proximidades a los márgenes del canal y corresponden además a un valor obtenido mediante un proceso de interpolación de valores conforme se señala en los apartados anteriores. Además el valor de ajuste del modelo empírico tiene una  $R^2 > 0.9$ .

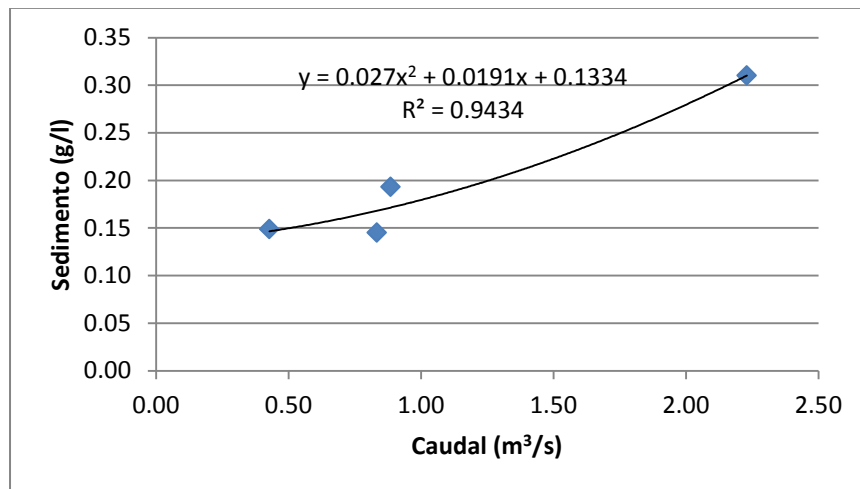


Figura 4. Modelo de ajuste binomial para definir la relación empírica Q vs. S para 2010.

Con el modelo de regresión binomial actualizado hasta mayo de 2011 se extrapolan los valores de caudal monitoreados en los 295 días de registros continuos cada 10 minutos en el Dren Tzurumútaró (Figura 5). El último de los ajustes de regresión realizado con los registros obtenidos de 2010 y 2011 consiste en uno que relacione la altura del tirante del Dren con el cálculo de caudal

en virtud de que de este modo se pueden aprovechar los registros discretizados cada 10 minutos de proporcionados por el logger de nivel para traducirlos primero a Caudal y posteriormente a carga de sedimentos.

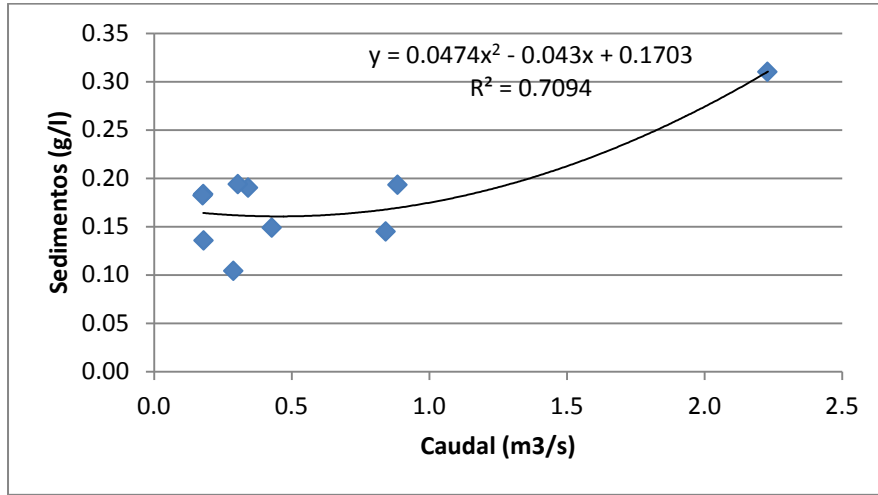


Figura 5. Modelo de regresión binomial con los datos Caudal-Sedimentos (Q vs. S) para el Dren Tzurumútaró actualizado hasta mayo de 2011.

La Figura 6 muestra los ajustes de regresión para distintos periodos de las campañas de muestreo entre la altura del tirante observado y el caudal medido. En el punto de confluencia del Dren con la carretera Pátzcuaro-Quiroga. Sitio en el que se tiene determinada una sección transversal y localizado en esta un sensor de nivel. Las lecturas de dicho nivel se relacionan con el caudal medido semanalmente por velocidad de flujo y ancho de las subsecciones y se transforman a un modelo empírico de altura registrada en el sensor con caudal en m<sup>3</sup>/s. Simultáneamente se obtienen muestras de sedimento en suspensión a las mismas profundidades en que es medida la velocidad de flujo y en laboratorio dichas muestras son filtradas, secadas y pesada para obtener un modelo empírico que relacione el caudal con la carga de sedimentos en suspensión.

El modelo obtenido hasta julio de 2011

$$y = 0.0474x^2 - 0.043x + 0.1703$$

en el que:

y= carga de sedimentos (g/l) y

x= caudal (m<sup>3</sup>/s)

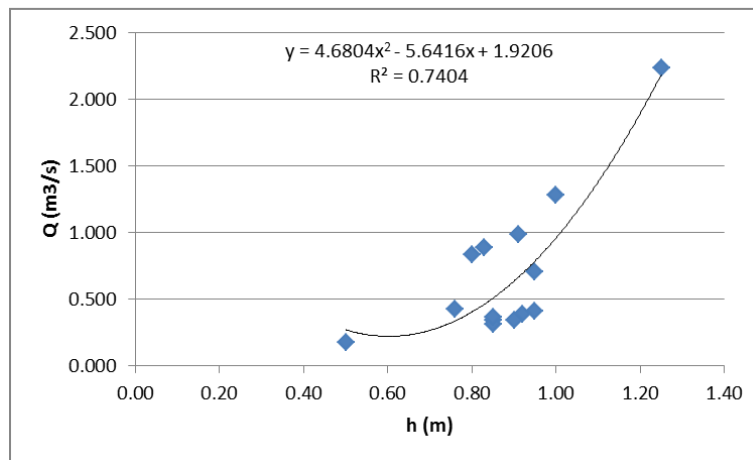
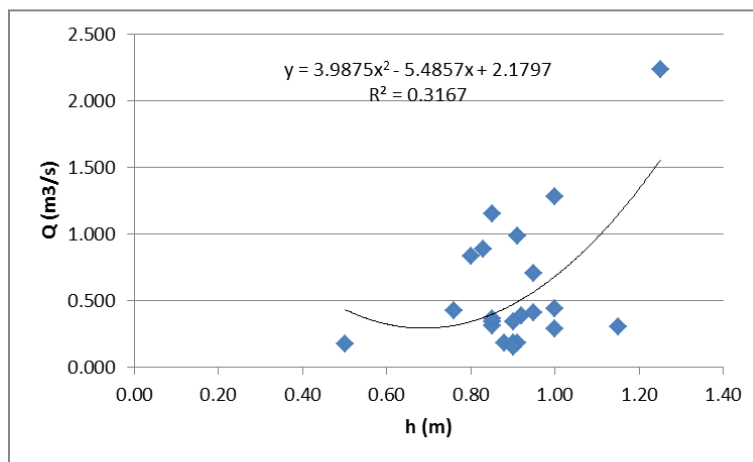
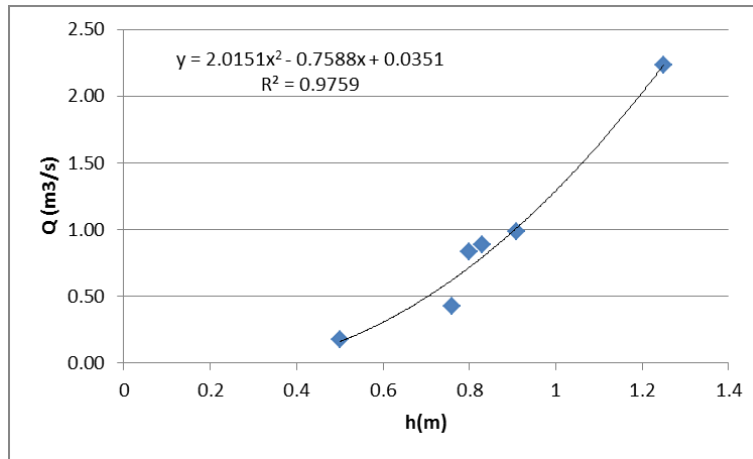


Figura 6. Modelos de ajuste de la relación altura del cauce (h en m) con caudal (Q en m<sup>3</sup>/s) en el dren Tzurumutaro. a) Con 6 datos de 2010. b) Con 23 datos de 2010-2011 incluyendo periodo de dragado y remoción de hidrófitas y c) Excluyendo 8 semanas del periodo de trabajos en el dren. Si bien el modelo no está del todo ajustado (R=0.75), permite una extrapolación de valores de carga de sedimentos en suspensión para la porción de los registros pluviométricos que han sido completados y analizados en el presente informe.

Por otra parte, la relación entre la precipitación diaria y el escurrimiento –ya sea- modelado (2003 a 2009) o bien medido (2010-2011) puede observarse en la figura 7. Esta subcuenca presentaba hasta 2006 un valor del parámetro S de 55 mm. Es decir que tormentas menores a 11 mm no se consideran generadoras de lluvia efectiva (Pe) o en otras palabras que no generan escurrimiento superficial. A partir de 2007 y a la fecha dado el cambio considerado de uso de suelo y vegetación el valor de número de curva se ve incrementado y por tanto se reduce el valor del parámetro S (52 mm) lo que conduce a que tormentas iguales o mayores a 10 mm sean consideradas como generadoras de lluvia efectiva (Pe) o de exceso que genera escurrimiento superficial.

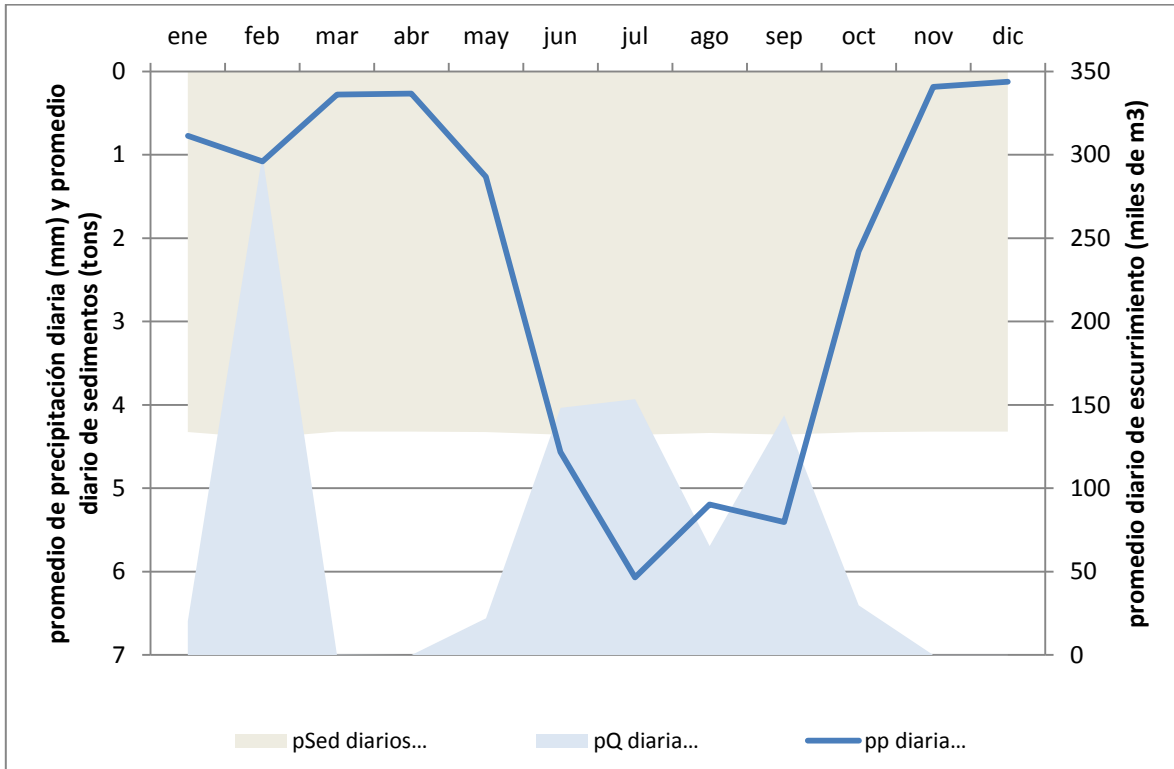


Figura 7. Fluctuación mensual de los valores promedio diarios de precipitación, escurrimiento y carga de sedimentos en la Subcuenca Tzurumútaru.

#### 4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El promedio de 8 años de registros de precipitación y solo 2 de observación de carga de sedimentos permite mostrar que las variaciones de precipitación se relacionan claramente con las variaciones de escurrimiento. Sin embargo no es así con la transformación a valores diarios de carga de sedimento. En la figura 6 se observa por ejemplo que la relación lluvia-escurrimiento es sensible a condiciones extraordinarias de precipitación como la de enero-febrero de 2010 que es el evento responsable de ese incremento en la precipitación promedio diaria y su consecuente escurrimiento en la subcuenca. No así el valor más o menos constante estimado como promedio diario (recuérdese que se tienen los valores discretizados cada 10 minutos para el Dren) pero que probablemente por la incipiente condición de ajuste del modelo no se muestran fluctuaciones considerables más allá del **promedio diario de 4.24 ton.**

En el Cuadro 5 se presenta la síntesis de lo analizado a partir de información pluviométrica desde junio de 2003 hasta los mismos registros de precipitación y los registros de nivel del dren transformados a caudal y relacionados con carga de sedimentos hasta julio de 2011.

Cuadro 5. Estimación anual de carga escurrimiento y carga de sedimentos en la subcuenca Tzurumútaró.

<b>año</b>	<b>Q (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Sedimento (miles Tons)</b>
2003	9.61	2.40
2004	16.56	4.14
2005	16.55	4.14
2006	16.59	4.15
2007	19.45	10.49
2008	17.58	8.54
2009	9.77	5.19
2010	18.23	10.21
2011	17.07	4.24

Referente a la metodología puede señalarse que 2010 sirvió principalmente para probar el comportamiento del movimiento de sedimentos en el espacio de un cauce. Se destinó mucho tiempo a esa tarea y se dejó de largo la posibilidad de obtener muestras integradas que de manera más eficiente permitiera un mayor número de datos en el sitio.

Respecto a los resultados, las variaciones de caudal muestran una marcada diferencia entre el periodo de estiaje y el de la temporada lluviosa. Dichos flujos tienen por una parte la agravante de incrementar sus valores de turbidez sólidos suspendidos totales y carga de sedimentos a la salida del dren.

En la temporada de estiaje la reducción de caudal muy probablemente para riego en la zona por bombeo tiene la ventaja de que resta en casi la mitad el caudal de salida del dren y por tanto durante 6 meses el valor mínimo de concentración de sólidos sedimentables se reduce aún más en términos absolutos por concepto de disminución del gasto del dren.

Las observaciones a eventos puntuales de la marcha de la descarga de eventos de precipitación y la carga de sedimentos asociada, mostró valores muy altos de carga de sedimentos que de acuerdo con



los modelos empíricos desarrollados, la cifra asciende a 0.3 g/l en condiciones de un caudal de aprox. 2.5 m<sup>3</sup>/s.

Asimismo se estima que la carga de sedimentos con dichos modelos reportan para el mes de septiembre, valores diarios promedio de 20 ton, en tanto que para los restantes de 2010 la cifra no alcanza los 5 ton diarias. Por su parte la extrapolación del método para los años 2007 a 2010 muestra un promedio de 10 mil ton anuales de sedimentos que entran al lago por el dren Tzurumútaró.

Los presentes resultados son preliminares y constituyen una estimación sujeta a mayores revisiones y contrastes con otros trabajo. Sin embargo debe subrayarse que la microcuenca Tzurumútaró no solo constituye en términos de abundancia proporcional un 14.5% de la cuenca de Pátzcuaro, sino que es además la que de manera directa y a través del dren aporta magnitudes de sedimentos aproximadas a las aquí evaluadas.

## 5 REFERENCIAS

- Aksoy H. 2000. Use of Gamma Distribution in Hydrological Analysis. Tur J. Engin. Environ. Sci. 24(2000) 419-428.
- Aparicio M.J., Lafragua C.J., Gutiérrez L. A., Mejía Z. R. y E. Aguilar G. 2006. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. Evaluación de los recursos hídricos. PHI-LAC / Documento Técnico No. 4.UNESCO-IMTA. México. 95 pp.
- Aparicio, F. 2008. Fundamentos de Hidrología de Superficie. LIMUSA. Méx. 303 pp.
- Brooks, K.N., Folliott, P.F. Gregersen, H.M and J.L. Thames. 1991. Hydrology and the management of watersheds. Iowa State University Press. Ames, Iowa. 392 pp.
- Campos-Aranda D.F. 1998. Procesos del Ciclo Hidrológico. UASL.
- Campos-Aranda D.F. 2007. Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. UASL. México 440 pp.
- Campos-Aranda, D.F. 2007. Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. SLP. México. 440 pp.
- Campos-Aranda D.F.2010. Introducción a la Hidrología Urbana. UASL. México. 269 pp.
- Carabias, J, R. Landa, J. Collado y P. Martínez. 2005. Agua, Medio Ambiente y Sociedad.UNAM. México. 219 pp.
- Casas C. M.C. 2002. Análisis espacial y temporal de las lluvias extremas en Catalunya. Modelización y clasificación objetiva. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. 131 pp más Anexos.
- Chow, V.T., Maidment D.R. y Mays S.W. 1994. Hidrología aplicada. McGraw Hill. Santa Fé de Bogotá. Colombia. 584 pp.
- Cuevas F.L., Tejeda S.D., García C.J.S., Guerrero H.J.A., González O.J.C y H. Hernández M. 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras prácticas. CONAFOR-SEMARNAT. México. 296 pp.

- Dunne, T. & Leopold, L.B. 1978. Water in Environmental planning. W.H. Freeman and Company. San Francisco. 818 pp.
- Gordon N.D., McMahon T.A., Finlayson B.L, Gippel C.J and R.J. Nathan. 2004. Stream Hydrology. An introduction for ecologists. John Wiley & Sons, LTD. England.
- Hewlett, J.D. 1982. Principles of forest hydrology. University of Georgia Press Athens, Georgia. 184 pp.
- Hudson N.H. 1997. Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. (Boletín de Suelos de la FAO - 68). FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Versión html: <http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s00.htm#Contents>
- IMTA 1999. Instructivo para aforo con molinete. 2ª. edición. IMTA-SEMARNAP. 59 pp Linsley, R. K.; M. A. Kohler y Paulhus, J. L. H. 1988. Hidrología para ingenieros. McGraw-Hill. México 386 p.
- Leeks G.J.L. and S.D. Marks. 1997. Dynamic or river sediments in forested headwater streams: Plynlimon. Hydrology and earth Systema sciences 1(3) 483-497.
- Maza A.J.A. 2005. Velocidad media de inicio de inicio de erosión en pilas, velocidad media critica de arrastre y velocidad media de equilibrio de erosión. In: Rivera et al. (eds.) La medición de sedimentos en México. IMTA-UJAT. México. 319 pp.
- Merz B. and A. Bárdossy. 1998. Effects of spatial variability on the rainfall runoff process in a small loess catchment. Journal of Hydrology 212-213 (1998) 304-317.
- Monsalve, S. G. 1999. Hidrología en la Ingeniería. 2ª. Ed. Alfaomega. Bogotá 383 pp.
- Quintanilla C.A., Rivera T.F., Barajas F.J., Sanchez R.P.A y Soto C.G. 2005. Procesamiento de datos de sedimentos. In: Rivera et al. (eds.) La medición de sedimentos en México. IMTA-UJAT. México. 319 pp.
- Rivera F.J. G., Mejía Z.R., Soto C.G. y Val S.R. 2005. Aspectos de la medición de los sedimentos en México. In: Rivera et al. (eds.) La medición de sedimentos en México. IMTA-UJAT. México. 319 pp.
- Santacruz D.G. 2011. Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Cahoacán, Chiapas, México. Aqua-LAC 3(1) 45-54.
- USDA 1979. Field Manual for Research in Agricultural Hydrology, Handbook No. 224, United States Department of Agriculture, February, 1979, pp. 92
- Wanielista, M., Kersten, R. and R. Eaglin. 1997. Hydrology Water Quantity and Quality Control. John Wiley & Sons. 2nd ed. USA.
- Ward. A.D. and Trimble S.W. Environmental Hydrology. Lewis Pub. 475 pp.

# **SIMULACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN, MÉXICO Y SU RELACIÓN CON EL NIÑO/OSCILACIÓN DEL SUR**

Juan Suárez Sánchez<sup>1</sup>, Silvia Chamizo Checa<sup>1</sup>, Walter Ritter Ortíz<sup>1,2</sup>, Claudian Cortés Piedras<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratorio de Medio Ambiente, Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Jsuares71@gmail.com.

<sup>2</sup>Departamento de Climatología Física y Dinámica, Sección de Bioclimatología, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México.

## **RESUMEN**

El propósito de esta investigación es establecer una relación entre los regímenes de precipitación pluvial de la cuenca del río Zahuapan, Tlaxcala México y los eventos del ENOS, para proponer alternativas en el manejo sostenible de este recurso, ya que la disponibilidad de agua en esta cuenca es considerada baja. Para lo cual se obtuvieron 30 años de información de la precipitación acumulada mensual de cinco estaciones meteorológicas en los municipios de Tlaxco, Atlangatepec, Apizaco, Tlaxcala e Ixtacuixtla, ubicadas en la cuenca, eliminando intervalos de tiempo donde se detectó falta de información en alguna de las estaciones. Con el modelo WEAP se simuló el volumen de agua precipitado en la cuenca para cada mes durante el intervalo de tiempo estudiado. Para cada año estudiado se estimaron la media, desviación estándar e identificaron los valores mínimos y máximos, del volumen de la precipitación pluvial mensual de la cuenca simulados con WEAP. Se buscaron relaciones entre los índices de ENOS y los estadísticos calculados, así como con las simulaciones del volumen de agua precipitado en la cuenca de forma directa, con análisis de varianza, regresión lineal múltiple y coeficientes de correlación. Los resultados mostraron que el comportamiento de la precipitación mensual no mostró diferencias estadísticas entre las estaciones meteorológicas de Tlaxco, Atlangatepec y Tlaxcala, la estación de Apizaco fue estadísticamente igual a la de Tlaxcala y diferente a las restantes e Ixtacuixtla resultó ser estadísticamente diferente a las demás estaciones. Además se observó que existe un aumento en las precipitaciones pluviales anuales durante la fase fría de ENOS y una disminución en la fase caliente, así como una correlación estadística significativa observada entre la precipitación mensual acumulada y la temperatura de la superficie del mar en la región 1+2 de El Niño con 4 meses de retraso en el tiempo.

Palabras clave: Precipitación, cuenca, ENOS, análisis y varianza.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La disponibilidad de agua es un factor limitante para el desarrollo de las comunidades que habitan en el Altiplano Mexicano. Las actividades económicas (agricultura, industria y demás) demandan considerables cantidades de agua, aunado a la demanda de agua para uso y consumo doméstico. Esto plantea la necesidad de realizar un manejo sostenible de este recurso, para no comprometer su disponibilidad en las generaciones futuras y para lograrlo es necesario contar con información útil para la toma de decisiones.

Existe una variabilidad natural en el balance de agua de una cuenca, debido a variaciones en sus componentes (precipitación, escurrimiento, evapotranspiración e infiltración). La infiltración, evapotranspiración y escurrimiento, depende de la cantidad de agua precipitada, topografía, tipo y uso de suelo. La variabilidad en la precipitación pluvial a escala cuenca, depende de factores globales, regionales y locales. La caracterización de la precipitación pluvial en una cuenca, es un

conocimiento esencial en el estudio del balance de agua, propuestas de manejo sustentable de este recurso, así como para hacer propuestas para reducir la vulnerabilidad de los cultivos agrícolas, sobre todo en regiones donde la producción agrícola depende de los regímenes de precipitación pluvial.

Estudios observacionales han reportado una relación entre la precipitación pluvial y las diferentes fases de El Niño/Oscilación del Sur. En Colombia la distribución en tiempo y espacio de la precipitación pluvial está fuertemente influenciada por ENOS, anomalías negativas en la precipitación pluvial y el escurrimiento están asociados a la fase caliente de este modo climático y anomalías positivas con la fase fría (Poveda and Mesa, 1997; Poveda, 1997). En la India los monzones pobres están relacionados significativamente con ENOS (Cane, 2005). En la región del Amazonas la precipitación pluvial está asociada con el IOS (Índice de Oscilación del Sur) y precipitaciones pluviales por arriba del promedio ocurren durante la fase fría de ENOS y por debajo en la fase caliente (Rollenbeck and Anhuf, 2007). La precipitación pluvial de la región del norte de Taiwan está significativamente afectada por los eventos de ENOS, lo que incrementa la incertidumbre del abastecimiento regional del agua. En esta región, la precipitación pluvial se reduce durante la fase fría del ENOS y se incrementa durante la fase caliente (Liao *et al*, 2010). Existe una correlación entre la erosividad de la lluvia de invierno y los valores estacionales de los índices de ENOS especialmente en la costa del Pacífico de los Estados Unidos de Norteamérica, donde el Pacífico tropical representa la mayor fuente de humedad, con un fuerte control de ENOS (D'Odorico *et al.*, 2001). Los eventos de sequías en el sureste de Estados Unidos de Norteamérica están asociados a las fases de ENOS (García y García *et al.*, 2010). Las teleconexiones que existen entre el ENOS y el comportamiento de las anomalías hidrometeorológicas alrededor del mundo han sido objeto de extensas investigaciones por muchos años (Pasquini and Depetris, 2010). En 1920 el grupo de Sir Walker encontró una relación entre la presión de la superficie en Australia y las descargas del río Paraná al Rosario, Argentina.

El ciclo de ENOS está presente en registros que datan de hace 130 kyr. El conocimiento de los impactos de ENOS en el balance de agua de la cuenca nos permitirá prepararnos para mitigar los impactos relacionados a las anomalías del clima (Cane, 2005), por ejemplo diferentes prácticas agrícolas pueden ser utilizadas para las diferentes fases de ENSO y así reducir la vulnerabilidad a la variación en la disponibilidad del agua (D'Odorico *et al*, 2001). El conocimiento de variabilidad de las variables hidrológicas es importante en el momento de planificar y administrar los recursos hídricos en las diferentes actividades económicas de la cuenca, para lograr un adecuado manejo agrícola, industrial y urbano, con el fin de prevenir o mitigar potenciales daños a personas y/o materiales (Rivera *et al*, 2007).

La cuenca del río Zahuapan está caracterizada de acuerdo a su disponibilidad de agua por habitante, como de muy baja disponibilidad (SEMARNAT, 2007), lo que la hace más vulnerable en los años de precipitación escasa. La mayor parte de la agricultura en Tlaxcala depende del régimen de precipitaciones pluviales. ENOS es un modo climático que influye de manera diferenciada en las variables hidrológicas de una región (Rivera *et al.*, 2007). Por ello se requiere de un análisis a escala cuenca que permita una evaluación acorde con posibles estrategias de uso y manejo del agua (SEMARNAT, 2007). El objetivo de este trabajo es caracterizar la precipitación pluvial de la cuenca del río Zahuapan, en su dinámica asociada a las fases fría, neutra y caliente de El Niño/Oscilación del Sur. Con la finalidad de generar información que contribuya a la buena toma de decisiones para el logro de una administración sostenible de este recurso.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN

El estado de Tlaxcala se localiza en la región centro-oriental de la república mexicana, situado en las tierras altas del eje neovolcánico sobre la meseta de Anáhuac, a una altitud promedio de 2230 msnm. Su clima es templado subhúmedo, semifrío subhúmedo y frío, con lluvias anuales promedio en la región centro y sur de 600 a 1200 mm y menores de 500 mm en el noroeste y este (Suarez *et al.*, 2009). La cuenca del río Zahuapan se ubican en la parte central del estado de Tlaxcala y tiene una extensión de 1725.5 Km<sup>2</sup> (Figura 1).

### 2.2. BASE DE DATOS

Se elaboró una base de datos de la precipitación pluvial acumulada mensual para el mayor intervalo de tiempo disponible, que incluyera valores completos de las cinco estaciones meteorológicas localizadas en los municipios de Tlaxco, Atlangatepec, Apizaco, Tlaxcala e Ixtacuixtla, ubicadas en la cuenca del río Zahuapan. Para este intervalo de tiempo se elaboraron bases de datos de los índices indicadores de las fases de ENOS: temperatura mensual de la superficie del océano en las regiones de El Niño, índice anual del ENOS de la Agencia Meteorológica Japonesa (JMA) e índice mensual oceánico de El Niño (NOI) (NOAA, 2012).

### 2.3. MODELO WEAP PARA LA SIMULACIÓN DEL VOLUMEN DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN

Se elaboró un modelo de simulación de la precipitación pluvial con el software Water Evaluation and Planning System (WEAP) para la cuenca del río Zahuapan bajo condiciones naturales (NOM-011-CNA-2000, 2002), utilizando una estructura simplificada y los valores de los parámetros de los trabajos previos de simulación del balance de agua en dicha cuenca (Suárez *et al.*, 2009). El modelo estuvo integrado por 10 tramos de río para representar el flujo del río Zahuapan; 10 nodos de área de captación para representar los procesos de precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración, considerando las características de clima y uso de suelo de cada área de captación; así como un acuífero para toda la cuenca.

### 2.4. METODOLOGÍA

Se realizó un análisis de varianza a la información de la precipitación pluvial de las diferentes estaciones meteorológicas de la cuenca, para identificar diferencias estadísticas entre ellas.

Se calcularon la media, mediana, moda y desviación estándar, e identificaron los valores mínimos y máximos, para la información mensual de la precipitación pluvial en mm, de las estaciones meteorológicas localizadas en los municipios de Tlaxco, Atlangatepec, Apizaco, Tlaxcala e Ixtacuixtla, que se ubican en la cuenca del río Zahuapan. Se buscaron relaciones entre estos estadísticos y los índices de ENOS, de manera directa, con uso de gráficos, análisis de varianza y cálculo de índices de correlación.

Con el modelo WEAP se simuló el volumen de agua precipitado en la cuenca para cada mes durante el intervalo de tiempo estudiado. Para cada año estudiado se estimaron la media, desviación estándar e identificaron los valores mínimos y máximos, del volumen de la precipitación pluvial mensual de la cuenca simulados con WEAP. Se buscaron relaciones entre los índices de ENOS y

los estadísticos calculados, así como con las simulaciones del volumen de agua precipitado en la cuenca (escala mensual y anual), utilizando observaciones directas, análisis de varianza, regresión lineal múltiple y coeficientes de correlación.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL POR ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN

Se analizaron 30 años de información mensual de la precipitación pluvial en mm, de las estaciones meteorológicas localizadas en los municipios de Tlaxco, Atlangatepec, Apizaco, Tlaxcala e Ixtacuixtla, que se ubican en la cuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. Debido a la falta de información de precipitación en alguna de las estaciones se eliminaron del análisis los intervalos de enero de 1978 a diciembre de 1979 y de julio de 1986 a mayo de 1989.

La precipitación promedio mensual de las cinco estaciones meteorológicas osciló de 59.33 mm (Atlangatepec) a 69.53 mm (Tlaxcala), con valores de la mediana entre 35.5 mm (Ixtacuixtla) y 51.5 mm (Apizaco), moda de 0 mm y valores máximos entre 286.3 mm (Apizaco) y 403.2 mm (Tlaxcala) (Tabla 1). Se observaron diferencias estadísticas en el comportamiento de la precipitación entre las cinco estaciones ( $p=0.00$ ). El comportamiento de la precipitación mensual no mostró diferencias estadísticas entre las estaciones meteorológicas de Tlaxco, Atlangatepec y Tlaxcala, pero la estación de Apizaco fue estadísticamente igual a la de Tlaxcala y diferente a las restantes, e Ixtacuixtla resultó ser estadísticamente diferentes a las demás estaciones.

La precipitación pluvial analizada por años, mostró sus valores promedio mensuales más bajos en las estaciones de Apizaco, Atlangatepec y Tlaxcala, con 44.68 mm, 43.81 mm y 45.21 mm, respectivamente, para el año 1982. Las estaciones de Ixtacuixtla y Tlaxco, aunque presentaron valores bajos ese mismo año, 40.54 mm y 46.93 mm, respectivamente, presentaron valores aún más bajos en 1983, con 39.97 mm y 43.5 mm, correspondientemente. A diferencia, los valores promedio mensual más altos los mostraron en 1976, 1992, 1995, 2003 y 2010, con 77.63 mm, 93.72 mm, 83.40 mm, 88.54 mm y 80.57 mm, para las estaciones Tlaxco, Tlaxcala, Ixtacuixtla, Apizaco y Atlangatepec, correspondientemente (Tabla 2). Los valores observados del promedio de precipitación más bajos correspondieron a la fase caliente de ENSO (considerada como muy fuerte) que inició en 1982 y se extendió a poco más de la mitad de 1983. Con relación a los valores promedio mensuales más altos de esta variable, 3 se presentaron en años considerados como fase neutra de ENOS (1992, 1995 y 2003), uno en fase fría de ENOS (2010) y otro en fase caliente de ENOS (1976) (JMA Index ENOS, 2010). Se manifestó una correlación significativa negativa entre la temperatura de la superficie del mar en la región Niño1+2 y la precipitación mensual de la cuenca del río Zahuapan, con valores de  $r=-0.46$  para las estaciones de Apizaco y Atlangatepec, y de  $-0.44$ ,  $-0.47$  y  $-0.48$  para las estaciones de Tlaxco, Tlaxcala e Ixtacuixtla. Como ejemplo, en la figura 2 se muestra gráficamente la correlación negativa entre la precipitación de la estación de Apizaco y la SST Niño 1+2, usando valores estandarizados de las variables con alisamiento simple mediante promedios móviles de 3 puntos.

Correlaciones significativas más altas se observaron entre la precipitación mensual y la temperatura de la superficie del mar (TSM) en la región Niño1+2 con 4 meses de retraso, con valores de  $r$  de 0.67, 0.65, 0.66, 0.69 y 0.64, para las estaciones Apizaco, Atlangatepec, Ixtacuixtla, Tlaxcala y Tlaxco, respectivamente (Tabla 3). Como ejemplo se muestra gráficamente en la figura 3, la

correlación entre la precipitación de la estación de Apizaco y la SST Niño 1+2 con 4 meses de retraso, utilizando valores estandarizados de las variables con alisamiento simple mediante promedios móviles de tres puntos.

### 3.2. COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL TOTAL DE LA CUENCA SIMULADA CON WEAP

La precipitación pluvial mensual simulada de la cuenca del río Zahuapan, presentó su máximo valor promedio en 1995 con  $71.16 \text{ Mm}^3$ , año considerado como fase neutra de ENSO, y su valor mínimo promedio en 1982 con  $36.42 \text{ Mm}^3$ , año considerado como fase caliente de ENSO. La mayor variabilidad intra-anual se observó en 1982 con una desviación estándar de  $167.95 \text{ Mm}^3$  (Tabla 4).

Los máximos valores observados en la simulación mensual de la precipitación pluvial de la cuenca del río Zahuapan, correspondieron en 11, 11 y 8 de los años a los meses de junio, julio y agosto, respectivamente. En la ecuación 1 se presenta la relación lineal múltiple entre la precipitación pluvial de junio, julio y agosto y la precipitación anual de la cuenca con una  $r=0.99$ .

$$\text{PANU} = 90.16 + 0.98 (\text{PJUN}) + 0.96 (\text{PJUL}) + 1.03 (\text{PAGO}), \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde PANU=precipitación anual de la cuenca, PJUN=precipitación acumulada del mes de Junio en la cuenca, PJUL=precipitación acumulada del mes de Julio en la cuenca y PAGO=precipitación acumulada del mes de Agosto en la cuenca.

No se encontraron correlaciones significativas entre la precipitación pluvial mensual simulada y las TSS Niño 1+2 (como indicador de las fases de ENSO) para diferentes tiempos de retraso. No se encontraron correlaciones significativas entre la precipitación pluvial anual simulada y el índice JMA indicador de las fases de ENSO. Se encontró una correlación significativa entre la precipitación pluvial simulada de febrero y el índice JMA para ese mismo mes ( $r=0.44$ ). La precipitación pluvial simulada de febrero presentó diferencias estadísticas ( $p=0.49$ ) para las distintas fases de ENSO, con promedios de 0.91, 1.98 y  $4.32 \text{ Mm}^3$ , para las fases caliente, neutra y fría, correspondientemente, donde la precipitación promedio de la fase fría fue estadísticamente diferente ( $p=0.05$ ) a las otras dos fases de ENSO.

Se identificaron diferencias significativas entre la precipitación pluvial simulada de agosto y el NOI de agosto ( $p=0.008$ ), con valores promedio de 133.82, 218.11 y  $225.6 \text{ Mm}^3$ , para las fases caliente, neutra y fría de ENSO, respectivamente, donde la precipitación promedio de la fase caliente fue estadísticamente diferente ( $p=0.05$ ) a las otras dos fases de ENSO.

La precipitación pluvial mensual simulada para la cuenca del río Zahuapan, para las diferentes fases de ENSO del mes de agosto (NOI), mostró un comportamiento similar para los meses de septiembre a mayo, con diferencias visuales en los meses de junio, julio y agosto, aunque solamente diferencias significativas en agosto (Figura 4).

**Tabla 1.** Estadística descriptiva de la precipitación (mm) mensual de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, para el periodo de 1975 a 2010.

Estación	Media	N	Mediana	Moda	Mínimo	Máximo	Desv. Est.
Apizaco	67.58445	373	51.50000	0.000000	0.00	286.3000	65.79949
Atlangatepec	59.33576	373	40.50000	0.000000	0.00	293.7000	59.26603
Ixtacuixtla	58.41424	373	35.50000	0.000000	0.00	286.2000	62.40322
Tlaxcala	69.53539	373	40.10000	0.000000	0.00	403.5000	73.71291
Tlaxco	59.72190	373	41.90000	0.000000	0.00	318.6000	59.79691

**Tabla 2.** Estadística descriptiva de la precipitación mensual (mm) por año, de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, para el periodo de 1975 a 2010.

Año	Apizaco		Atlangatepec		Ixtacuixtla		Tlaxcala		Tlaxco		N
	Media	Err. Est.	Media	Err. Est.	Media	Err. Est.	Media	Err. Est.	Media	Err. Est.	
1975	63.36667	19.60478	56.53333	17.68763	59.52500	18.52557	62.84167	21.97551	63.33333	17.81400	12
1976	81.58333	19.60478	63.47500	17.68763	69.14167	18.52557	85.04167	21.97551	77.63333	17.81400	12
1977	58.42500	19.60478	42.57500	17.68763	67.51667	18.52557	62.01750	21.97551	53.79167	17.81400	12
1980	81.80000	19.60478	57.70833	17.68763	54.30833	18.52557	59.15000	21.97551	66.13333	17.81400	12
1981	67.55833	19.60478	69.61667	17.68763	75.68333	18.52557	70.70833	21.97551	54.99167	17.81400	12
1982	44.68333	19.60478	43.80833	17.68763	40.54167	18.52557	45.21083	21.97551	46.93333	17.81400	12
1983	67.70833	19.60478	48.04167	17.68763	39.96667	18.52557	57.61333	21.97551	43.50000	17.81400	12
1984	75.16667	19.60478	57.30000	17.68763	62.25833	18.52557	76.21667	21.97551	56.85833	17.81400	12
1985	74.20833	19.60478	64.56667	17.68763	60.17500	18.52557	89.73333	21.97551	50.18333	17.81400	12
1990	69.71667	19.60478	58.11667	17.68763	56.17083	18.52557	62.63333	21.97551	60.34167	17.81400	12
1991	78.28333	19.60478	59.44167	17.68763	63.09167	18.52557	65.70833	21.97551	62.21667	17.81400	12
1992	77.55000	19.60478	61.98333	17.68763	76.22583	18.52557	93.71667	21.97551	63.60000	17.81400	12
1993	54.51667	19.60478	60.97500	17.68763	63.90000	18.52557	61.46500	21.97551	48.56667	17.81400	12
1994	69.60000	19.60478	56.83333	17.68763	57.38333	18.52557	71.15083	21.97551	53.08333	17.81400	12
1995	76.24167	19.60478	71.51667	17.68763	83.40833	18.52557	85.40000	21.97551	61.52000	17.81400	12
1996	69.36667	19.60478	59.50000	17.68763	45.49167	18.52557	49.59167	21.97551	58.65583	17.81400	12
1997	68.67500	19.60478	59.77500	17.68763	57.05833	18.52557	65.30833	21.97551	70.23000	17.81400	12
1998	54.03333	19.60478	45.40000	17.68763	53.72500	18.52557	77.73333	21.97551	40.65000	17.81400	12
1999	71.46667	19.60478	61.48333	17.68763	45.95417	18.52557	80.99167	21.97551	71.80833	17.81400	12
2000	60.65833	19.60478	54.93333	17.68763	40.85000	18.52557	81.16667	21.97551	53.40000	17.81400	12
2001	58.45000	19.60478	51.78333	17.68763	62.37500	18.52557	69.23750	21.97551	65.73333	17.81400	12
2002	58.86667	19.60478	49.27500	17.68763	47.52500	18.52557	71.31833	21.97551	63.38333	17.81400	12
2003	88.54167	19.60478	62.15000	17.68763	61.31667	18.52557	75.10833	21.97551	70.76667	17.81400	12
2004	70.75000	19.60478	60.05833	17.68763	59.10833	18.52557	71.22000	21.97551	68.61667	17.81400	12
2005	49.83333	19.60478	56.68333	17.68763	49.58333	18.52557	58.14167	21.97551	49.05000	17.81400	12
2006	70.25000	19.60478	66.68667	17.68763	75.10000	18.52557	75.70833	21.97551	60.02500	17.81400	12
2007	60.95833	19.60478	74.67500	17.68763	65.84167	18.52557	66.55833	21.97551	69.90000	17.81400	12
2008	52.70833	19.60478	64.10000	17.68763	50.27500	18.52557	61.14167	21.97551	74.65833	17.81400	12
2009	70.41667	19.60478	57.40000	17.68763	52.69167	18.52557	63.80833	21.97551	59.39167	17.81400	12
2010	75.45833	19.60478	80.56667	17.68763	62.66667	18.52557	71.08333	21.97551	52.91667	17.81400	12



**Tabla 3.** Coeficientes de correlación entre la precipitación mensual (mm) registrada en las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Zahuapan y la temperatura de la superficie del mar (TSM) de la región Niño 1+2, para el periodo de 1975 a 2010.

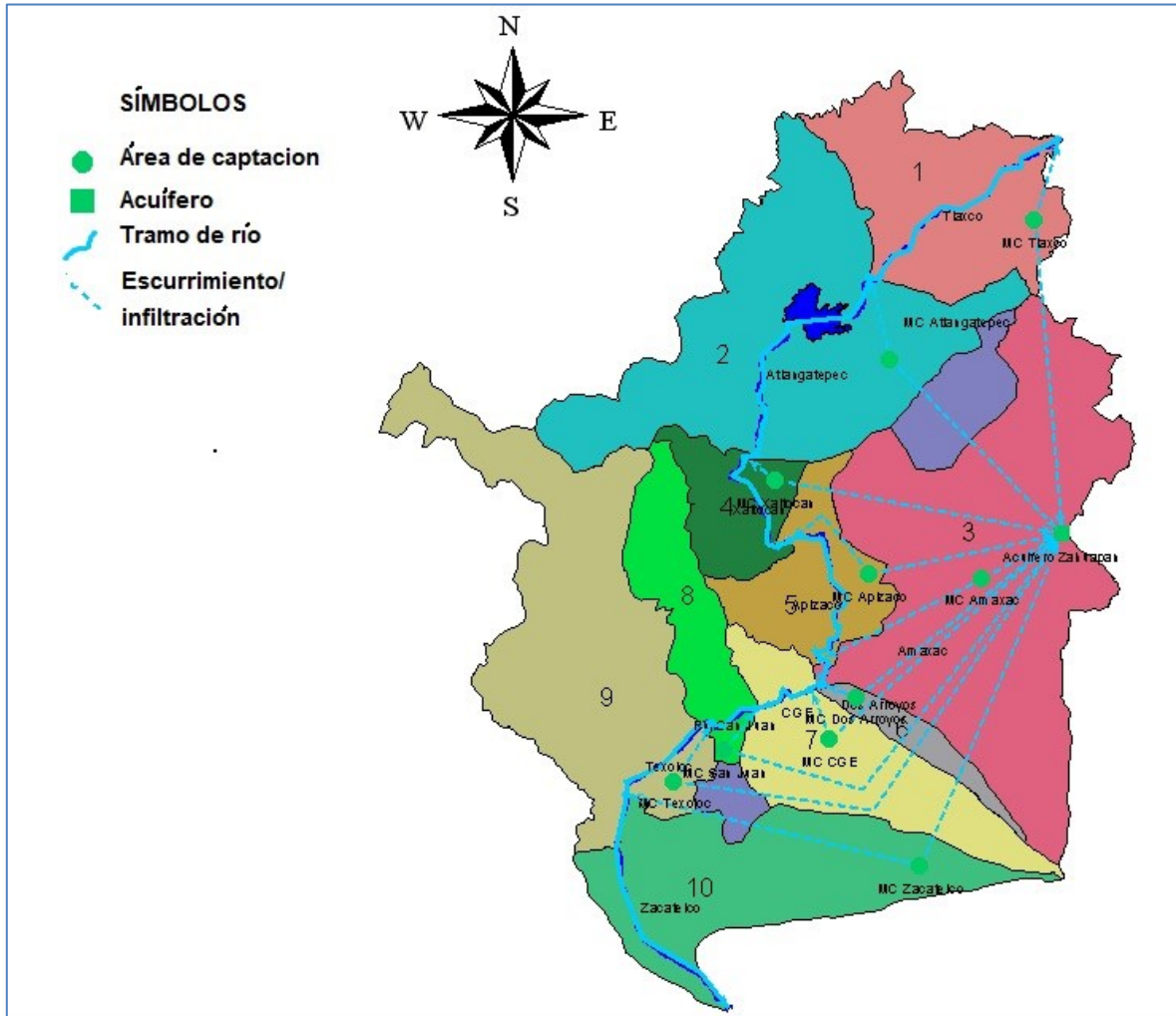
Region	Estación meteorológica				
	Apizaco	Atlangatepec	Ixtacuixtla	Tlaxcala	Tlaxco
Niño1+2	-0.455685	-0.464801	-0.476276	-0.473248	-0.439935
Niño1+2 (t-1)	-0.149019	-0.161209	-0.171628	-0.161904	-0.138186
Niño1+2 (t-2)	0.212903	0.192291	0.185009	0.206227	0.206624
Niño 1+2 (t-3)	0.518645	0.493246	0.487336	0.520138	0.496802
Niño 1+2 (t-4)	0.669081	0.650432	0.660726	0.694812	0.636844
Niño 1+2 (t-5)	0.638413	0.634064	0.652476	0.682455	0.609040

Todas son significantes a  $p < 0.05$ ,  $N=373$

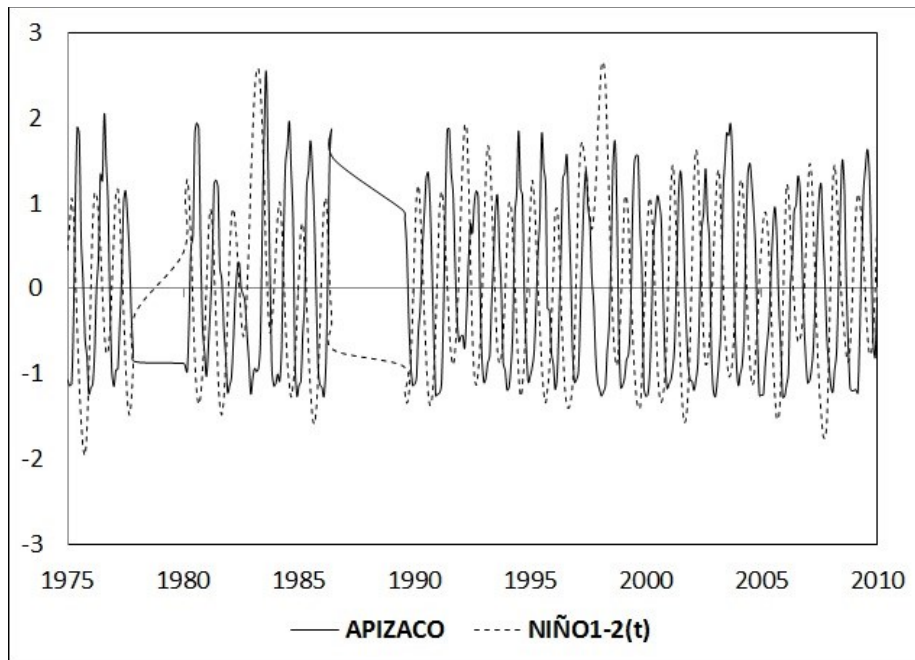
**Tabla 4.** Estadística descriptiva de la precipitación pluvial mensual simulada para la cuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México.

Año	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	N
1975	66.87012	0.033746	341.0837	114.2586	12
1976	66.62278	0.206746	344.522	111.4912	12
1977	54.83342	0.800696	223.8236	84.6977	12
1980	57.14358	0.067491	308.18	95.3635	12
1981	65.22235	0.750767	311.269	106.1905	12
1982	36.41887	0.014513	167.9522	56.341	12
1983	52.26212	0	251.113	91.1055	12
1984	65.19024	0.089532	273.5483	102.906	12
1985	65.74201	0.7595	290.4612	104.4126	12
1990	51.74348	0.695399	217.6754	78.9423	12
1991	63.29902	0.11811	272.3416	101.5813	12
1992	55.03389	0.085256	205.9591	77.2105	12
1993	59.99338	0	255.1331	96.766	12
1994	61.75164	0.584772	255.9514	98.2656	12
1995	71.16471	2.178596	430.6823	128.1454	12
1996	53.50862	0	202.1797	82.3848	12
1997	48.8348	0.260096	221.3211	72.6656	12
1998	44.08329	0	194.8003	66.8781	12
1999	62.47214	0	258.2995	98.5517	12
2000	55.53142	0	265.4051	93.2549	12
2001	59.67483	0.204217	254.2634	94.3938	12
2002	49.78253	0	207.9282	77.1541	12
2003	64.42902	0	337.5902	106.8951	12
2004	58.17971	0.043421	254.381	90.1443	12
2005	48.37701	0	268.515	87.9475	12
2006	59.3231	0	259.7452	92.5702	12
2007	61.63648	0.575874	261.9247	95.7884	12
2008	66.48809	0	319.2684	114.3483	12

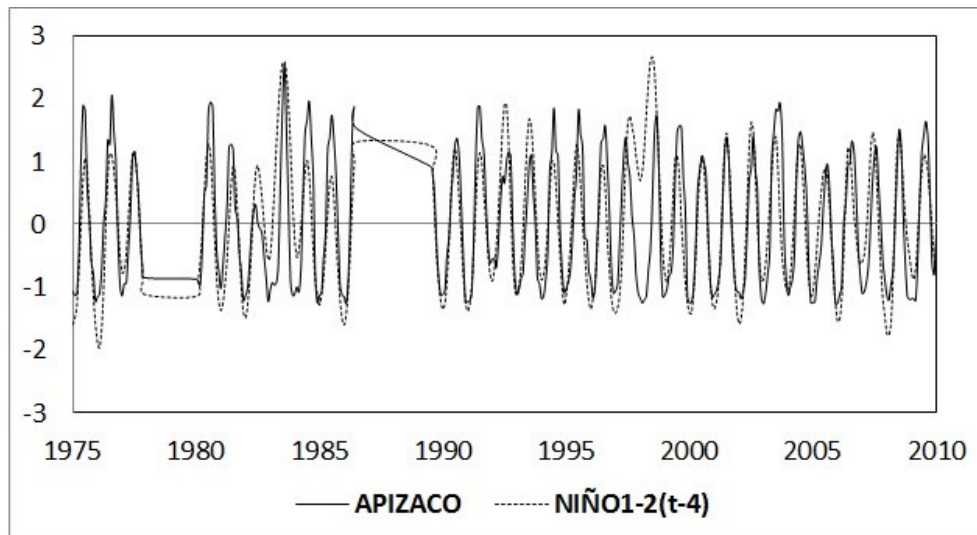
2009	51.96011	0.06192	195.0629	76.6757	12
2010	67.57127	0	328.4559	113.9154	12



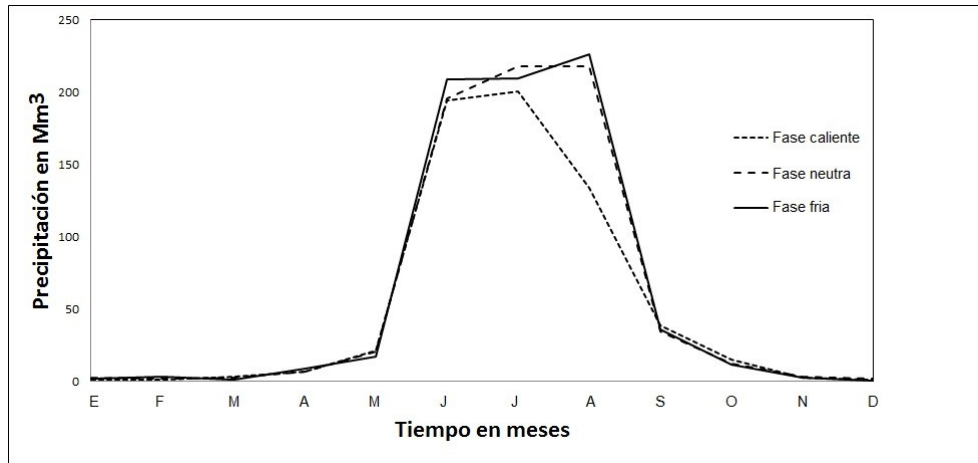
**Figura 1.** Representación gráfica del modelo en WEAP para la simulación de la precipitación pluvial de la cuenca del río Zahuapan.



**Figura 2.** Promedios móviles y normalizados de la precipitación pluvial de la estación meteorológica de Apizaco y la temperatura de la superficie del mar de la región el Niño1+2, para el periodo de 1975 a 2010, excepto los valores de Enero de 1978 a Diciembre de 1979 y de Julio de 1986 a Mayo de 1989.



**Figura 3.** Promedios móviles y normalizados de la precipitación pluvial de la estación meteorológica de Apizaco y la temperatura de la superficie del mar de la región el Niño1+2 con 4 meses de retraso, para el periodo de 1975 a 2010, excepto los valores de Enero de 1978 a Diciembre de 1979 y de Julio de 1986 a Mayo de 1989.



**Figura 4.** Precipitación pluvial mensual para las diferentes fases de ENSO en la cuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México.

#### IV. DISCUSIÓN

La precipitación pluvial promedio en la cuenca del río Zahuapan durante el periodo analizado osciló de 712 a 834 mm y la mediana de 426 a 618 mm. Esta diferencia de rangos entre la media y la mediana resulta de la existencia de un rango amplio de variación anual e interanual en esta variable. La primera se corrobora con los resultados de la regresión lineal múltiple donde la precipitación pluvial de los meses de Junio, Julio y Agosto, explican un 98% la variabilidad anual en la cuenca ( $r=0.99$ ). La segunda por las observaciones directas de valores promedios anuales bajos de precipitación pluvial durante los años de fase caliente de ENOS y altos durante la fase fría; así como de la correlación estadística observada entre la precipitación mensual acumulada y la temperatura de la superficie del mar en la región 1+2 de El Niño con 4 meses de retraso en el tiempo. Estas relaciones ya han sido observadas en otras regiones del mundo, donde se ha registrado un aumento en las precipitaciones pluviales anuales durante la fase fría de ENOS y una disminución en la fase caliente, zonas como la región del Amazonas (Rollenbeck and Anhuf, 2007), valles de los ríos Huaihe y Amarillo en China (Wang *et al.*, 2006; Zhongda and Riyu, 2009), Sureste de Estados Unidos de Norteamérica (García y García *et al.*, 2010), Suramérica tropical (Poveda y Mesa, 1996) y Suramérica subtropical (Montesinos *et al.*, 2000), pero igual se han observado comportamientos inversos de incremento en la precipitación pluvial anual en la fase caliente de ENOS y una disminución en la fase fría, en zonas como el suroeste de Estados Unidos de Norteamérica (D’Odorico *et al.*, 2001), Valle del río Yangtze en China (Zhongda and Riyu, 2009) y Norte de Taiwan (Shu *et al.*, 2010). Estas modificaciones en los patrones de precipitación anual están relacionados con las modificaciones que tiene la atmósfera durante las fases de ENOS (Zhongda and Riyu, 2009) y para la cuenca del río Zahuapan suponemos que está asociada a la modificación que tiene la célula de circulación de Walker por el movimiento de la alberca de agua caliente que se efectúa durante la fases de ENOS en el océano pacífico (Arnz y Fahrbach, 1996; Suárez, 2004). Las correlaciones entre la precipitación pluvial y las fases de ENOS con 4 meses de retraso en el tiempo, observadas en la cuenca del río Zahuapan, muestran un potencial para la predictabilidad de la precipitación pluvial en esta cuenca (D’Odorico *et al.*, 2001). Las correlaciones observadas entre la simulación de la precipitación pluvial del mes de febrero y la precipitación anual, y su relación con las fases de ENOS se pueden utilizar como indicadores de años secos, normales y húmedos (Rivera *et al.*, 2007), para fines de proyecciones de administración sustentable del recurso agua a escala cuenca.

## V. AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Jiménez López del Laboratorio de Ciencias Ambientales del Centro de Investigación en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala por la información de precipitación pluvial utilizada en este trabajo.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Arntz W y Fahrbach E. 1996. El Niño, Experimento Climático de la Naturaleza. Fondo de Cultura Económica. México. 312 pp.
- Cane, MA. 2005. The evolution of El Niño, past and future. *Earth and Planetary Science Letters*. 230: 227-240.
- D'Odorico P, Yoo JC and Over TM. 2001. An Assessment of ENSO-Induced Patterns of Rainfall Erosivity in the Southwestern United States
- García y García A, Persson T, Paz JO, Fraisse C, Hoogenboom G. 2010. ENSO-based climate variability affects water use efficiency of rainfed cotton grown in the southeastern USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139:629-635.
- Liao SY, Chen CC, Hsu HS. 2010. Estimating the value of El Niño Southern Oscillation information in a regional water market with implications for water management. *Journal of Hydrology*. 394:347-356.
- Montecinos A, Díaz A, Aceituno P. 2000. Seasonal Diagnostic and Predictability of Rainfall in Subtropical South America Based on Tropical Pacific SST. *Journal of Climate*. 13:746-758.
- NOAA. 2012. Climate Prediction Centre. Cold and Warm Episodes by season. Changes to the Ocean Niño Index (ONI). In Internet: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml). 27 de Julio de 2012.
- NOM-011-CAN-2000. 2002. Conservación del recurso agua – Que establece las especificaciones y métodos para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación. México. 17 pp.
- Pasquini AI and Depetris PJ. 2010. ENSO-triggered exceptional flooding in the Paraná: Where is the excess water coming from?. *Journal of Hydrology*. 383:186-193.
- Poveda G. and Mesa OJ. 1997. Feedbacks between hydrological processes in tropical south America and large-scale Ocean-Atmospheric Phenomena. *Journal of Climate*. 10:2690-2702.
- Poveda JG. 1997. Strange Attractors (CAOS) in the Hydroclimatology of Colombia?. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Vol. XXI (81):431-444.
- Rivera D, Lillo M, Arumí JL. 2007. Efecto del ENSO en la precipitación de Chillán, Chile: Una aproximación mediante wavelets. *Gestión Ambiental* 13:33-48.
- Rollenbeck R and Anhuf D. 2007. Characteristics of the water and energy balance in an Amazonian lowland rainforest in Venezuela and the impact of the ENSO-cycle. *Journal of Hydrology* 337:377-390.
- Shu L, Chi C, Shih H. 2010. Estimating the value of El Niño Southern Oscillation information in a regional water market with implications for water management. *Journal of Hydrology*. 394:347-356.
- Suárez J. 2004. Análisis de la Biomasa Atunera en el Océano Pacífico Oriental y su Relación con El Niño/Oscilación del Sur (ENOS); Simulación y Pronóstico. Tesis Doctor en Ciencias Ambientales. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 92 pp.
- Suárez J, Muñoz H, Orozco S, Sánchez G, Ritter W, Carreón MF, Muñoz ML, Treviño JM. 2009. Disponibilidad de Agua y el Cambio Climático Global en la Subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Gestión Ambiental* 18: 49-61.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003. Informe de la Situación del Medio Ambiente en Mexico, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales. SEMARNAT. México.
- Wang H, Yang Z, Saito Y, Liu JP, Sun X. 2006. Interannual and seasonal variation of the Huanghe (Yellow River) water discharge over the past 50 years: Connections to impacts from ENSO events and Dams. *Global and Planetary Change*. 50:212-225.
- Zhongda L and Riyu L. 2009. The ENSO's Effect on Eastren China Rainfall in the Following Early Summer. *Advances in Atmospheric Science*. 26(2):333-342.



# MODELADO DE LA CUENCA DE PÁTZCUARO

Isabel QUINTAS

Universidad Autónoma Metropolitana, UAM-X, [iquintas@correo.xoc.uam.mx](mailto:iquintas@correo.xoc.uam.mx)

## RESUMEN

La drástica disminución del nivel del agua del lago de Pátzcuaro de 2.1 metros entre los años 1982 y 1989 (a la que se agregó medio metro más entre los años 96 y 2000, después de un periodo de siete años en que se mantuvo estable), alarmó a las autoridades y a la comunidad, dando lugar a varios estudios sobre las causas del comportamiento del lago. Algunos estudios basados en periodos cortos de datos dan por resultado los modelos de balance hidrológico mostrando el comportamiento cíclico anual. Este trabajo muestra el modelo de largo plazo del lago, construido con una serie larga de 40 años de lluvia, temperatura y nivel del lago a escala diaria; se trata de un modelo GAM (Generalized Additive Models) que explica el nivel del lago como función de la anomalía de lluvia acumulada, la población de la cuenca y la lluvia y temperatura máxima anual. Este modelo, basado en splines cúbicas explica más del 93% de la varianza y muestra claramente que la altura del lago depende fuertemente de la precipitaciones ocurridas entre 2 y cinco años antes, lo que permitiría tomar medidas tanto de adaptación como de mitigación después de dos o tres años de anomalías negativas. Complementando el modelo anterior, con los datos obtenidos por el IMTA (2004-2012) se realizó un modelo de corto plazo que muestra las variaciones interanuales, permitiendo predecir el comportamiento del lago con algunos meses de anticipación

**Palabras clave:** modelado cuenca cerrada, hidrología, lago, GAM, modelo

## 1 INTRODUCCIÓN

El lago de Pátzcuaro se encuentra en una cuenca cerrada de algo menos de 94 mil hectáreas, que corresponde también a los límites del denominado acuífero de Pátzcuaro. Recibe además de la precipitación directa, una serie de arroyos intermitentes durante la temporada de lluvias, y la aportación del Dren de descarga de aguas agrícolas Zurúmutaro, que conduce las aguas del manantial Chapultepec. La superficie del lago oscila según el volumen de agua que contenga entre las nueve a diez mil hectáreas.

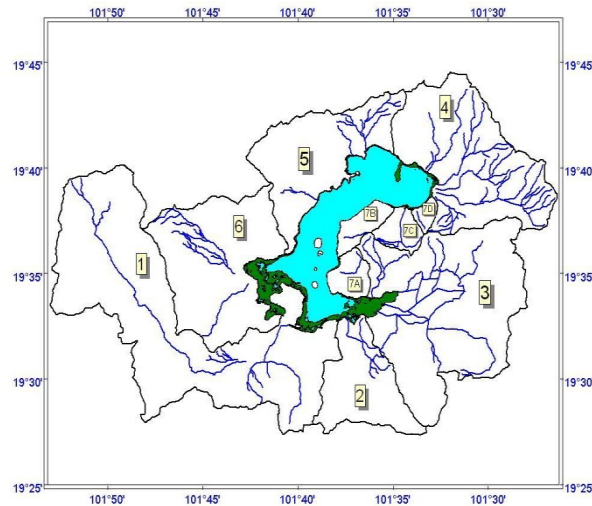
La drástica disminución del nivel del agua del lago de Pátzcuaro de 2.1 metros entre los años 1982 y 1989 alarmó a las autoridades y a la comunidad, dando lugar a varios estudios sobre las causas del comportamiento del lago. Algunos estudios basados en periodos cortos utilizan los modelos de balance hidrológico (Lafragua, Gutierrez, 2005) mostrando el comportamiento cíclico anual pero difícilmente son capaces de modelar el comportamiento del lago a largo plazo.

Los modelos estadísticos más sofisticados, permiten manejar grandes volúmenes de información y experimentar con distintos modelos para buscar las variables significativas que permitan obtener modelos predictivos con tiempo suficiente para tomar medidas correctivas y de adaptación.

Con los datos climatológicos del periodo 1961 a 2000 de la base de datos Maya, los datos de población del INEGI y la información de la altura del lago registrados por la CNA, se realizó un modelo de largo plazo; a partir de los datos de la red de monitoreo que estableció el IMTA en la

región a partir del año 2003 se realizó el modelo que muestra el comportamiento cíclico anual del lago. Después de un detallado análisis de datos se construyeron los modelos.

La técnica utilizada fue la de los modelos aditivos generalizados, GAM (Hastie, Tibshirani, 1986) que consiste en una generalización de los modelos de regresión lineal múltiple, pero consistente en la suma de funciones suaves (b-splines) y por tramos, lo que permite especificar el modelo como suma de funciones que muestran las relaciones entre los predictores y la variable a predecir.



**Figura 1- Cuenca de Pátzcuaro**

## **2 DISCUSIÓN DE LOS MODELOS**

### **2.1 ANÁLISIS DE DATOS 1961-2000 Y MODELO**

A partir de los datos diarios de precipitación y temperatura máxima se construyeron las series de tiempo de los valores de precipitación acumulada anual y dos valores de temperatura máxima, el primero como el promedio de temperatura máxima de los doce meses del año y el segundo considerando solamente el promedio de los cinco meses más calientes del año. La altura del lago se determinó promediando los valores de los 12 meses, a partir de aproximadamente diez mediciones mensuales. Para la población se interpoló linealmente entre los valores de la población de los cinco municipios de la cuenca obtenidos de los censos 1960 a 2000 del INEGI.

La precipitación anual presenta una distribución aproximadamente normal con media de 940mm. La temperatura máxima tiene también una distribución aproximadamente normal, pero no así la población que es aproximadamente uniforme. El histograma de la altura del lago muestra el comportamiento extremo: varios años con una altura promedio de 3750 mm sobre la cota y otros a 1250 mm lo que representa un abatimiento de 2.5 metros.

Si se observa la variación de estas variables en el tiempo se observa que el lago durante la década de los sesentas subió su nivel en más de 1.5 metros pero durante la década de los ochentas disminuyó en 2.2 metros, lo que significa un volumen de casi 200 hm<sup>3</sup>. Si se observa la precipitación, durante los sesentas ocurren varios años seguidos con precipitaciones por encima de



la media – hasta 1 300mm – y el lago se estabiliza con precipitaciones que oscilan en los 900mm; durante los ochentas las precipitaciones disminuyen, dándose 5 años seguidos alrededor de los 700 mm, y aunque en la siguiente década hay cuatro años seguidos de lluvias extraordinarias, el lago apenas se estabiliza. Son otros los factores que dominan en este periodo y es importante tratar de medir los efectos antropogénicos: durante los noventas se observa un aumento franco de la temperatura máxima así como el crecimiento de la población que para 1900 supera al 150% de la población del año 1970. No se dispone de información confiable de uso de suelo.

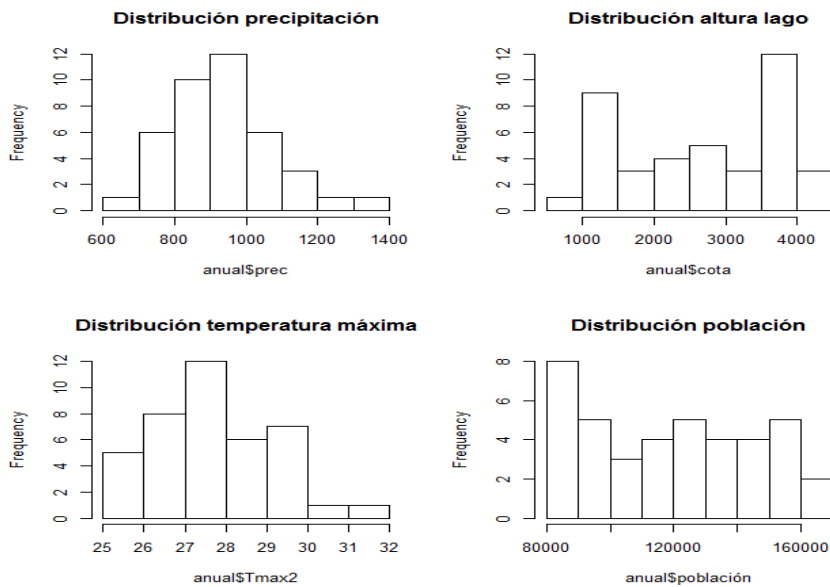


Figura 2- Distribución de frecuencia; variables anuales

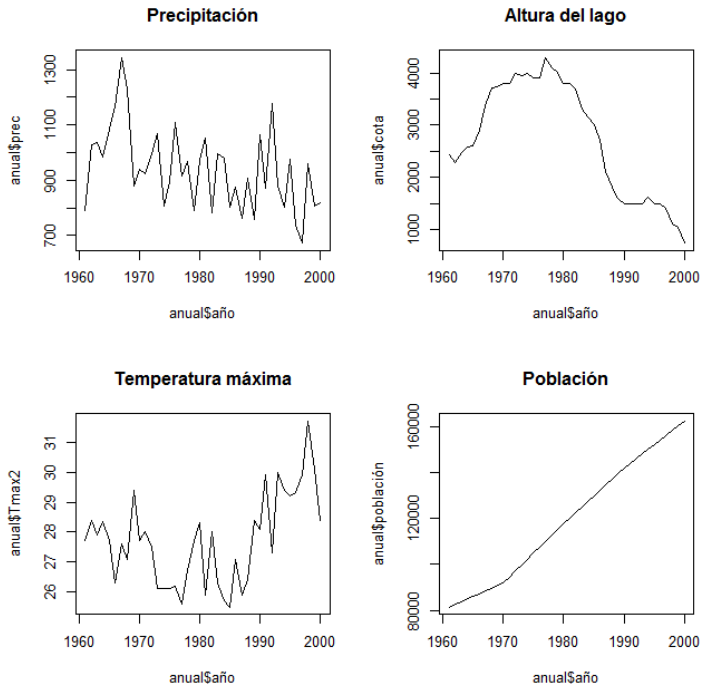


Figura 3- Evolución temporal variables 1961-2000

A partir del análisis anterior y del análisis de correlación con retardos, calculó la anomalía acumulada de precipitación, se trata de un filtro iterativo, para considerarla como variable predictora. Al analizar las autocorrelaciones de la altura del lago con las demás variables se observa que

- 1) La lluvia no se correlaciona significativamente con la altura del lago con la altura del lago, y muestra una importancia menor en los siguientes dos o tres años.
- 2) La correlación con la anomalía acumulada es muy significativa para el año, y sirve como predictor con varios años de anticipación.
- 3) La temperatura máxima tiene una autocorrelación negativa y puede usarse como predictor con también más de cinco años de anticipación.
- 4) La Población también se correlaciona negativamente con la altura del lago, y muestra influencia desde algunos años antes hasta bastante después. Este comportamiento está relacionado con ser una función monótonamente creciente.

Es interesante observar la traza de la anomalía acumulada y la altura del lago, figura 5, para el periodo de 40 años. Sin duda los primeros 30 años pueden ser explicados por la anomalía, no así la última década donde intervienen otros factores.

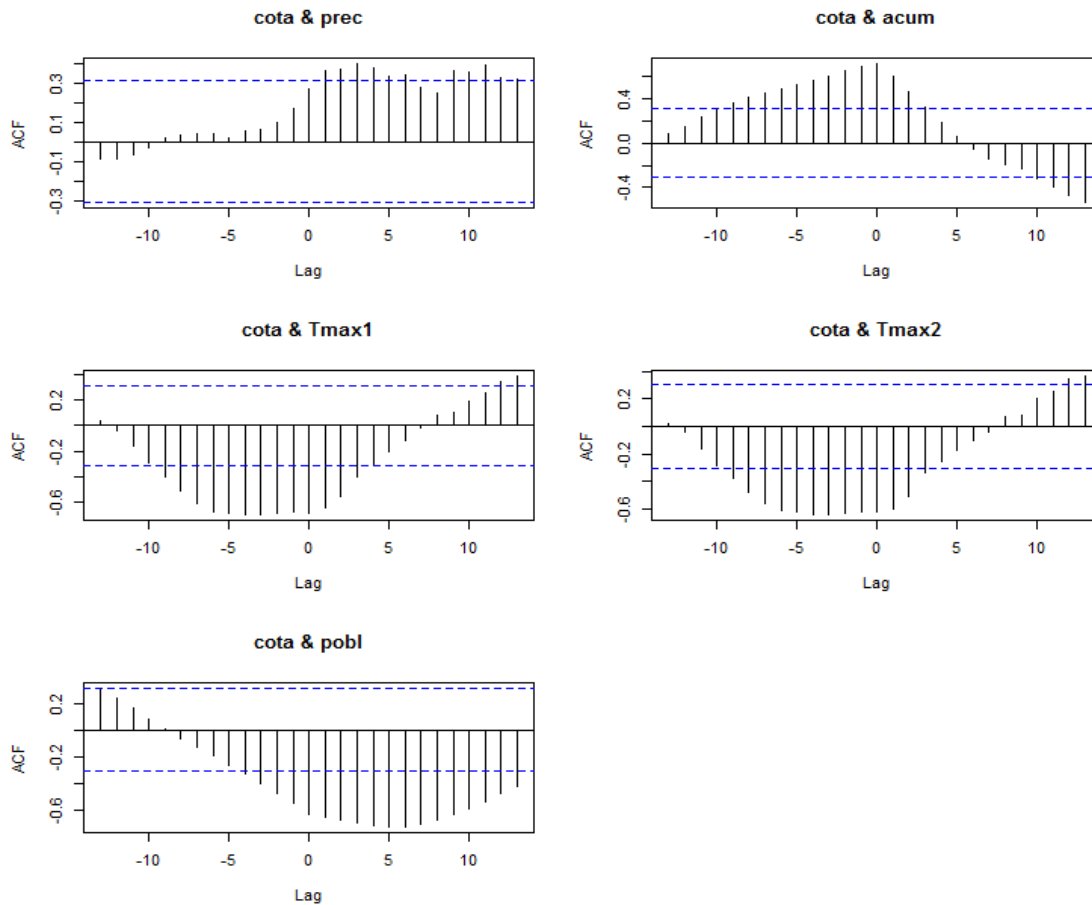


Figura 4- Autocorrelaciones con la altura del lago.

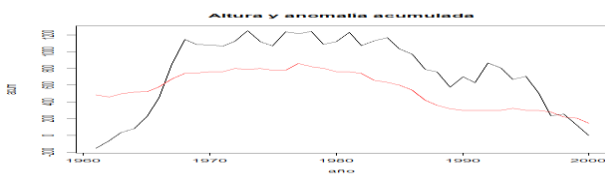


Figura 5- Nivel del lago, y anomalía de precipitación acumulada 1961-2000

El modelo aditivo generalizado con el mejor ajuste encontrado explica el 99% de la variabilidad (fue realizado utilizando la rutina gam del lenguaje R) El modelo indica que la variable más significativa es la población con  $p < 2e-16$  y en segundo lugar la anomalía acumulada con  $p = 0.00219$ .

Modelo 1 incluyendo acumulado, tmax1 y población bs="cr"

Family: gaussian Link function: identity

Formula:

$cota \sim s(acum, bs = "cr") + s(Tmax1, bs = "cr") + s(pobl, bs = "cr")$

Parametric coefficients:

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

(Intercept) 2.74275 0.01612 170.1 <2e-16 \*\*\*

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	F	p-value
s(acum)	0.9999	1.000	11.249	0.00219 **
s(Tmax1)	1.0000	1.000	0.219	0.64325
s(pobl)	8.4248	8.891	178.803	< 2e-16 ***

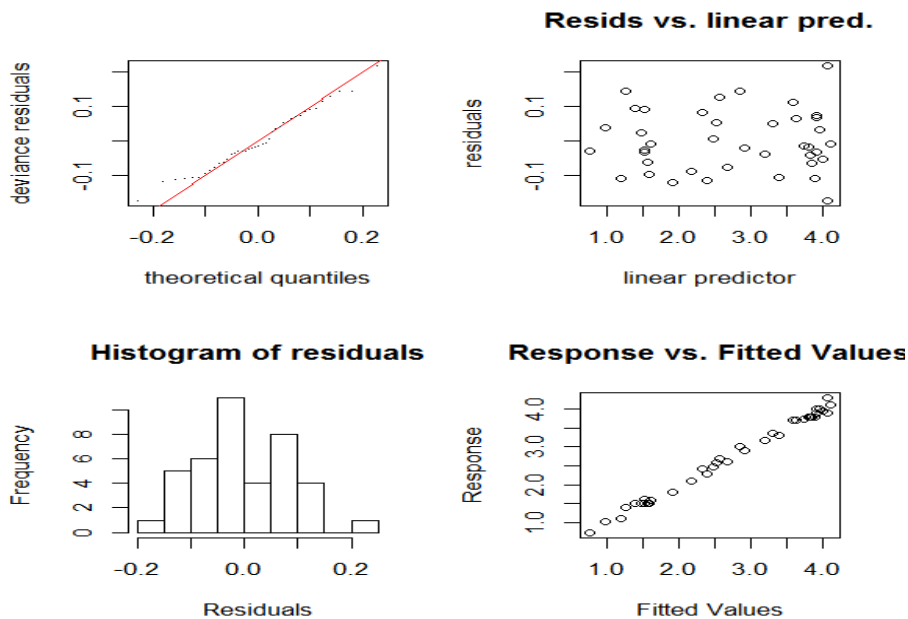
---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.991 Deviance explained = 99.4%

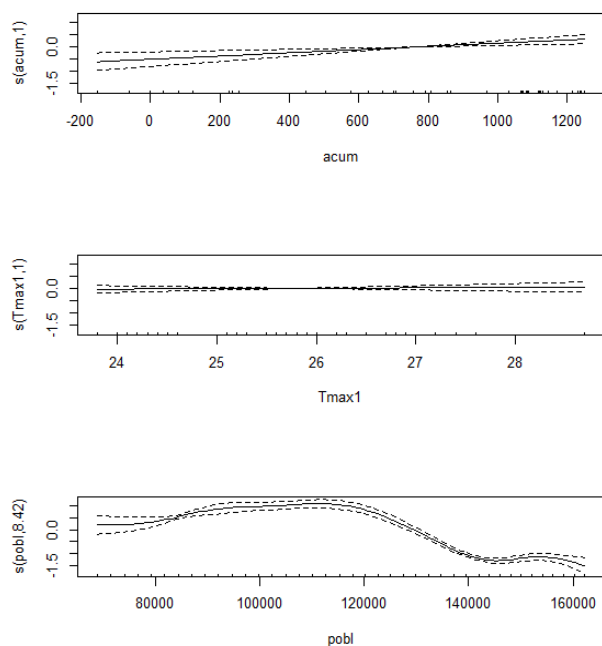
GCV score = 0.014551 Scale est. = 0.010395 n = 40

El análisis de residuos del modelo indica un buen ajuste. Las gráficas se muestran en la figura 6.



**Figura 6-** Análisis de residuos

Las funciones suaves que modelan el comportamiento del lago indican que la precipitación acumulada sigue un comportamiento prácticamente lineal y creciente; la temperatura es una recta casi horizontal, por lo que no es una componente importante, mientras que la función correspondiente a la población muestra un comportamiento casi horizontal, no influye, hasta acercarse a los 120 mil habitantes, donde su influencia es crítica.



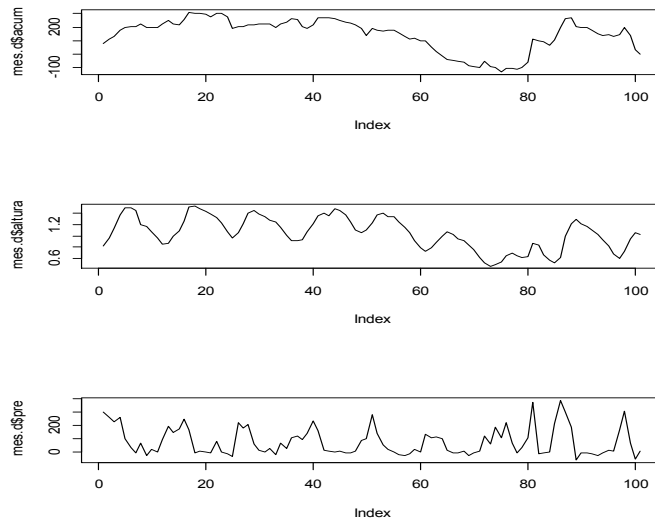
**Figura 7-** Funciones de interpolación del modelo anual.

## 2.1 ANÁLISIS DE DATOS 2003-2011 Y MODELO

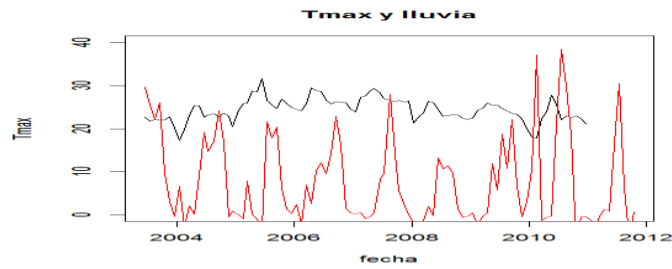
Este modelo se complementa con un modelo que tome en cuenta los ciclos anuales; para esto se consideraron los datos climatológicos mensuales medidos por la red de monitoreo del IMTA a partir del año 2003. Para este modelo no se consideraron los factores antropogénicos porque el periodo es muy corto y porque los datos de uso de suelo y población presentados en los reportes (IMTA, 2009,2012) parecen no responder a criterios homogéneos.

El análisis de las series de la precipitación, la altura del lago y la temperatura muestra que: a) el lago tiene una variación interanual de 50 centímetros (figura 8); b) el máximo de la altura del lago se da con un retardo de tres meses respecto a la precipitación, lo que sugiere nuevamente este proceso de acumulación; c) los ciclos de temperatura máxima y de precipitación están desfasados. (figura 8 y 9)

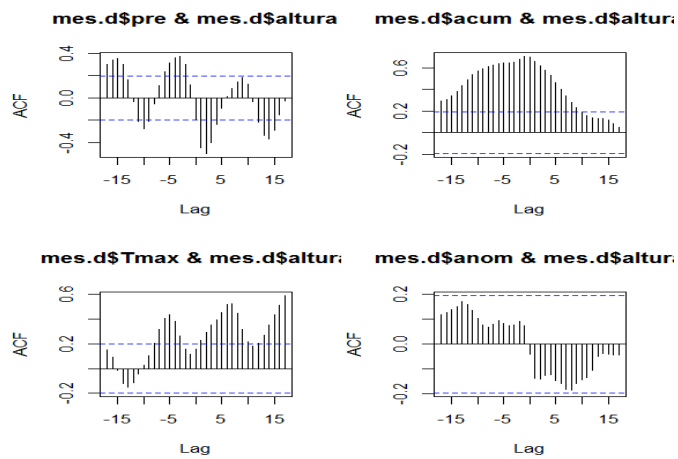
A partir de los datos de precipitación se construyó la serie de anomalía acumulada restándole a cada dato mensual el valor medio del mes e integrándola. El resultado es una curva que sigue a la envolvente de la altura del lago, dato corroborado con la autocorrelación entre ambas señales, significativa desde quince meses antes y con el máximo sin desfasar (figura 10), a diferencia de las otras variables que muestran el comportamiento cíclico anual como su máxima correlación.



**Figura 8-** Datos mensuales junio 2003 a 2012: a) anomalía de precipitación acumulada; b) altura del lago; c) precipitación.



**Figura 9-** Temperatura máxima mensual (°C) y precipitación mensual (cm)



**Figura 10-** Autorrelaciones.

El modelo encontrado para las series con datos mensuales se realizó con 91 datos correspondientes a siete años y medio donde se introdujeron como variables la precipitación mensual, la anomalía de precipitación y la temperatura máxima mensual así como la anomalía acumulada. Según el método GAM resultaron como las variables determinantes (significativas  $p > e-3$ ) la anomalía acumulada de precipitación y la precipitación; y en tercer lugar, aunque mucho menos determinante la temperatura máxima.

Formula:

$$\text{altura} \sim s(\text{prec}) + s(\text{anom}) + s(\text{acum}) + s(\text{Tmax})$$

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1.06938	0.01506	70.99	<2e-16 ***

(Intercept) 1.06938 0.01506 70.99 <2e-16 \*\*\*

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	Edf	Ref.df	F	p-value
s(prec)	5.296	6.386	4.388	0.000593 ***
s(anom)	1.000	1.000	0.043	0.836174
s(acum)	8.205	8.823	28.395	< 2e-16 ***
s(Tmax)	2.332	2.948	4.010	0.011084 *

R-sq.(adj) = 0.758 Deviance explained = 80.3%

GCV score = 0.025682 Scale est. = 0.020649 n = 91

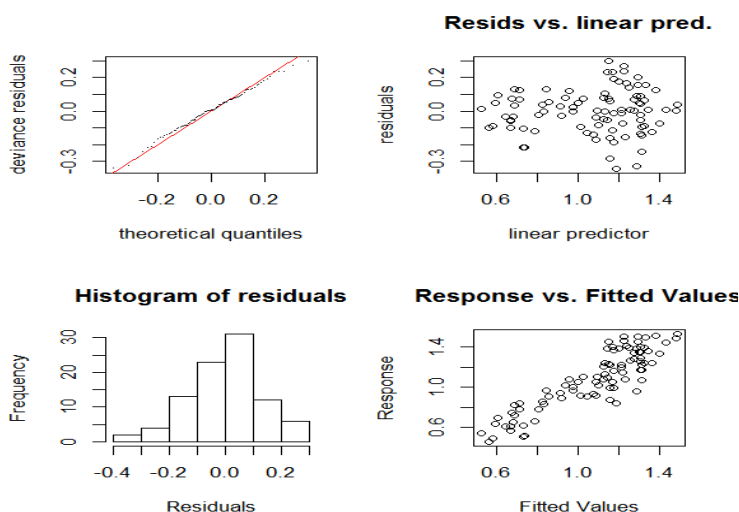


Figura 11- Análisis de residuos del modelo de comportamiento cíclico anual.

El análisis de los residuos del modelo muestra una distribución normal de estos y un buen ajuste en todo el rango. El incremento de errores para la altura de 1.2 se debe a que la variable de anomalía

acumulada es incompleta en los primeros meses, pero no se desechó por tener un número pequeño de datos.

El modelo explica el 80% de la variabilidad del comportamiento del lago, siendo el valor promedio de la precipitación mensual la responsable del comportamiento cíclico y la anomalía acumulada la parte correspondiente a la variación a largo plazo.

Las funciones del modelo de regresión generalizada se muestran en la figura 12, donde se observa que la anomalía de precipitación mensual es una recta casi horizontal por lo que carece de influencia; la temperatura es indiferente hasta los 23 grados, produciendo un efecto negativo a partir de allí mientras que la anomalía acumulada muestra ser una b-spline compleja en el intervalo de -110 a 325 mm y francamente positiva a partir de los 150 mm; la precipitación mensual tiene una contribución no constante, sino que decreciente hasta los 150 mm, y solo a partir de allí creciente, aunque decreciente en el último intervalo, indicando que un mes de lluvias extraordinarias no modificará sustancialmente el nivel del lago.

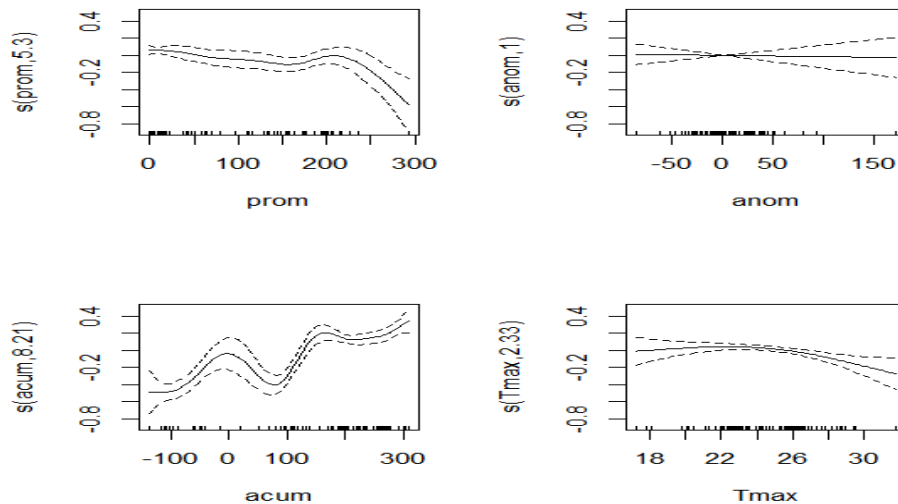


Figura 12- Funciones de interpolación para el modelo cíclico anual.

## CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos y de los modelos encontrados para simular el comportamiento del lago se puede obtener una idea preliminar del comportamiento del lago y los efectos que los factores climáticos y los factores provocados por el hombre producen sobre el volumen de agua almacenada. Otros estudios dan cuenta de las alteraciones químico-biológicas que también tiene lugar como consecuencia del mal manejo de la cuenca. El estudio también señala cuales son las variables que es necesario tomar en cuenta, y que requerirán de la recopilación, medición y búsqueda de información fundamental.



Para poder realizar medidas de planeación y adaptación a largo plazo es necesario tener un mayor detalle de cómo se dan las interrelaciones en la cuenca. A continuación se señalan algunas de las conclusiones particulares.

- La Cuenca de Pátzcuaro es aún una zona rural no muy poblada, y a grandes rasgos se puede decir que menos de 3% de su territorio corresponde a territorio urbanizado, menos del 30 % es utilizado para la agricultura y tal vez un 10% se ocupe para pastoreo, otro 10% lo ocupa el lago y el resto está conformado por bosque, matorral y acahual. La densidad poblacional es de 2 individuos por hectárea. De los 180 mil habitantes, casi la mitad, 86 mil viven en el municipio de Pátzcuaro dedicándose especialmente a los servicios turísticos. El mantenimiento y recuperación del lago es por lo tanto prioritaria entonces para el equilibrio y sustentabilidad ecológica de la región como desde el punto de vista social y económico.
- El modelo de largo plazo indica que la componente humana es la definitoria respecto al nivel del lago, y en segundo término los factores climatológicos dados por la anomalía de precipitación acumulada. La observación detenida del modelo permite observar que:
  - a) La anomalía de precipitación de los ocho años anteriores puede modelar el comportamiento del lago hasta que se llega a una población de 120,000 habitantes, que representaría el límite de población para una autorregulación del sistema.
  - b) La máxima correlación entre la altura del lago y la precipitación con un atraso de cuatro años en una cuenca tan pequeña, escurrimientos de menos de 30 kilómetros, indica que el sistema responde más al proceso de infiltración, recarga de acuífero, intercambio lago acuífero, que al proceso de lluvia escurrimiento, por lo tanto es necesario estudiar los niveles del agua en el subsuelo.
  - c) La variable número de habitantes no es suficiente para medir y explicar los efectos antropogénicos y debe ser desglosada en población rural y urbana, así como en índices de uso del suelo en al menos urbano, bosque, zonas de cultivo y zonas de pastoreo. También es necesario conocer los bombeos superficiales y subterráneos así como la distribución de mini embalses.
  - d) Los estudios reportados por el IMTA sobre cambio climático no son concluyentes para esa región, mientras indican aumento de la temperatura, el trabajo de Montero indica disminución de la precipitación, mientras que Priego pronostica aumentos en la precipitación debido al incremento de la actividad ciclónica. Ante esta incertidumbre es importante tener alguna capacidad de planificación para periodos de cinco a 10 años.
- En el modelo cíclico anual el factor determinante es la anomalía de precipitación acumulada, seguida de la precipitación mensual. En este modelo no se incluyeron variables antropogénicas porque si bien los reportes del IMTA incluyen extensiones de uso de suelo a partir de las imágenes de satélite, los criterios no son homogéneos. Las conclusiones particulares sobre este modelo son:
  - a) El comportamiento del lago es perfectamente cíclico aumentando su nivel a partir del mes de julio hasta octubre o noviembre donde llega a un máximo 50 centímetros en promedio por arriba del nivel más bajo en mayo o junio.
  - b) El nivel medio o la envolvente de los ciclos anuales tiene un comportamiento que responde a la anomalía acumulada, como lo señala el modelo de largo plazo, donde es fundamental al menos la precipitación de los dos ciclos anteriores. Otra vez, debido a lo

corto de la serie de tiempo no se descartaron los primeros valores de la serie de acumulados. Se puede observar como las anomalías negativas de precipitación que comienzan a mediados de 2007 y continúan hasta 2009 llevan a los valores mínimos a finales del 2009 y principios de 2010.

- c) Si se observa la función de interpolación de la anomalía acumulada se observa que cuando esta supera los 200 mm, provoca un incremento creciente del nivel del lago.
- d) En el modelo cíclico anual, la precipitación mensual entra como variable significativa ya que es la que da cuenta del escurrimiento superficial que aparece como arroyos intermitentes durante el período de lluvias. La temperatura aparece como un factor más importante a medida que la temperatura está por encima de los 24°C, incrementando los procesos de evapotranspiración.
- e) Este modelo que integra solo variables climatológicas puede explicar el 80% de la variabilidad que ocurre en este periodo con el nivel de agua del lago; por lo tanto deben existir factores de origen antropogénico. Los reportes del IMTA presentan datos de uso de suelo para los años 2003 y 2008 y una actualización a 2010, a partir de imágenes SPOT, pero las categorías empleadas en ambas imágenes no coinciden, además de indicar un incremento del 200% en la superficie de zona urbana de 2008 a 2010, que no se da en los hechos.

#### Estudios futuros

- Es necesario hacer un estudio sistemático de uso de suelo para los últimos años; las imágenes de Landsat están disponibles gratuitamente desde 2007; tal vez el Instituto de Geografía de la UNAM que posee una base de datos de imágenes satelitales podría aportar esta parte.
- Parece que México no está utilizando la información datos satelital disponible. Las distintas instituciones han comprado imágenes y las han analizado para proyectos específicos pero no se cuenta con una base de datos abierta. Existen datos satelitales desde los años ochentas y algunas fotografías aéreas de años anteriores, para ciertos sectores. Desde el 2000 se cuenta con la información del sensor MODIS de los satélites Terra que permiten calcular la evapotranspiración y la fotosíntesis. La información que proveen estos satélites permite monitorear los procesos de deforestación, desertificación, contaminación, cultivos, etc.
- Sería importante introducir los parámetros de evaporación en la superficie del lago y sobre la superficie terrestre de la cuenca; esta información existe en los datos del IMTA a nivel diario. Es muy importante que esta red se mantenga en funcionamiento algunos años más al tiempo que se restablece la estación climatológica de la Comisión Nacional del Agua que dejó de reportar desde 1997 aproximadamente.
- También ayudaría a este estudio el que el Servicio Meteorológico Mexicano actualizara la base de datos Maya (fuente de información del período del siglo xx) hasta el año 2010; este trabajo es imprescindible para este y muchos otros estudios.
- El IMTA cuenta con un área de aguas subterráneas; dado el posible funcionamiento integrado de la cuenca superficial, el lago y el acuífero, es necesario que se realicen estudios actuales así como búsquedas de información histórica sobre el acuífero.

- Se necesita información y control sobre las extracciones tanto de aguas superficiales como de las subterráneas.

Para poder hacer un manejo sustentable de la cuenca es necesario conocerla con detalle previamente, para lo cual se requiere de un estudio interdisciplinario entre varias instituciones, serio y completo. El modelado de la cuenca puede después extrapolarse a lo que ocurre en otras cuencas similares o con comportamientos parecidos. El lago de Chapala, mucho mayor que Pátzcuaro, y con una cuenca de cientos de kilómetros de largo, ha sufrido los abatimientos de los años cincuentas y los ochentas de forma casi idéntica lo que lleva a suponer que hay fenómenos globales que las afectan por igual. La realización del balance hidrológico tradicional no alcanza a mostrar los efectos que repercuten años más tarde; es necesario complementarlos con los estudios estadísticos de gran número de periodos y técnicas más sofisticadas.

### AGRADECIMIENTOS

Ambos modelos fueron realizados en lenguaje **R**, bajo la asesoría del Dr. Willem Vervoot de la Universidad de Sydney como resultado de un taller producto de un programa de cooperación de Australia con México..

### REFERENCIAS

- Hastie, T. y Tibshirani R. 1986. Generalized Additive Models. *Statistical Science*, Vol.1, N° 3, pp. 297-318
- IMTA, 2010. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. IMTA, pp. 46, 48 y 77.
- Lafragua, C.J. y Gutiérrez L.A. (2005). Balance hídrico en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro. *Informe final. IMTA-FGRA*, México, pp.15-46.
- Wood, S.N. 200?. Generalized Additive Models: an introduction with R, CRC Copyright.
- <http://www.ntsug.umt.edu/modis> (accesada agosto,2012).



# MANEJO DEL AGUA EN LA MICROCUENCA PALOS PRIETOS CON PRESENCIA DE *AMBYSTOMA ORDINARIUM* (TAYLOR 1939), MORELIA, MICHOACÁN.

Marina Barajas Arroyo<sup>a</sup>, Adriana Flores-Díaz<sup>b</sup>, Jesús Fuentes Junco<sup>c</sup> y Pablo Zárate Segura<sup>d</sup>.

[amarina.b.arroyo@gmail.com](mailto:amarina.b.arroyo@gmail.com), [bjfuentes@enesmorelia.unam.mx](mailto:bjfuentes@enesmorelia.unam.mx), [cadri.flores.diaz@gmail.com](mailto:cadri.flores.diaz@gmail.com), [dpablinn.zs@gmail.com](mailto:dpablinn.zs@gmail.com)

## 1 RESUMEN

El agua está involucrada de manera directa o indirecta en todas las actividades sociales y productivas que realizamos, así como en el sostén de la vida en los ecosistemas. Sin embargo la situación actual del recurso no alentadora, por lo que resulta primordial comprender la forma en que los grupos humanos toman decisiones sobre este recurso y sobre la cuenca que habitan. En los últimos años se ha reconocido la importancia de las zonas riparias amortiguando el impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas fluviales. Esta investigación analizó el manejo del agua en una microcuenca con presencia del ajolote *Ambystoma ordinarium*, donde el agua es utilizada para el suministro de una localidad periurbana de Morelia, Michoacán. Se realizaron entrevistas semiestructuradas con los habitantes y tomadores de decisiones locales, así como la evaluación de la zona riparia como un indicador del manejo de la microcuenca, utilizando dos protocolos de evaluación. Las personas viven actualmente la falta de agua en época seca y están buscando nuevos acuerdos con localidades vecinas, también con problemas de suministro. Conocen la relación agua - vegetación y han tomado algunas medidas para cuidar el bosque y los manantiales. El ripario ha sido severamente impactado, su calidad varía a lo largo del cauce principal, pero aún mantiene las condiciones para ser hábitat de *A. ordinarium*, hay que tener en cuenta que la población de la comunidad esta en aumento y esto afecta directamente en la demanda de agua y la calidad del hábitat para la especie.

**Palabras clave:** Ecosistemas fluviales, especie amenazada, manejo de cuencas, percepciones sociales, ripario.

## 2 INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable e insustituible para la vida del planeta, ya que no hay ningún organismo vivo que pueda prescindir de ella, y está involucrada de manera directa o indirecta en todas las actividades sociales y productivas que realizan las personas, además de que regula el clima y mantiene el funcionamiento de los ecosistemas (FEA, 2006). La situación del agua a nivel mundial no es alentadora, el crecimiento acelerado de la población y la expansión desordenada de las ciudades han provocado una mayor presión sobre el recurso, aunado a esto la cantidad de agua dulce disponible cada vez es menor, las fuentes de agua dulce se encuentran contaminadas y ya no son aptas para consumo o se encuentran sobre explotadas, por lo que es necesario realizar un buen manejo del agua para que sea usada de manera racionada y evitar su desperdicio o mal uso, procurando también que las necesidades de consumo de las personas sean satisfechas, así como los requerimientos de agua de los ecosistemas sean cubiertos y puedan mantener su funcionamiento y la gran cantidad de servicios que proveen tanto a la sociedad como a las especies silvestres (UNESCO, 2010).

En cuanto a la oferta de agua dulce son de especial importancia los ecosistemas dulceacuícolas, ya que de ellos dependen una gran cantidad de especies y también de poblaciones que necesitan agua. Las necesidades de ambos deben ser cubiertas y es necesario tratar de encontrar un equilibrio, ya que un ecosistema cuyas características se han visto afectadas, pierde la funcionalidad y ya no es capaz de proveer el agua y demás servicios ecosistémicos de los que requieren las personas, además de que deja de ser un hábitat viable para las especies dulceacuícolas. Todos estos beneficios se conocen actualmente como servicios ecosistémicos, que son “aquellos beneficios que obtienen las sociedades de los ecosistemas” (Daily, 1997).

Para los ecosistemas acuáticos es de gran importancia la zona riparia, que es la zona de transición y de interacciones entre el medio terrestre y el acuático (Granados, 2006) y que además de proveer servicios ambientales de protección y conservación de la biodiversidad, ayuda a restaurar la calidad del agua superficial, retiene el fósforo y nitrógeno que son transportados por la escorrentía de los cultivos, reduce la escorrentía y la erosión del suelo, entre otros. Debido a lo anterior, para realizar un buen manejo del agua es importante tener en cuenta la estrecha interacción existente entre la cuenca, el ripario y el canal del río, así como sus relaciones con otros elementos del paisaje. Dado que la calidad del ripario está relacionado con la disponibilidad de agua, es necesario tomarlo en cuenta como uno de los elementos principales al iniciar con el manejo, ya que las decisiones que se toman en el territorio de la cuenca tienen influencia en el ripario y en el canal del que se extrae el agua (Arcos, 2005; Granados, *et al.* 2006).

El propósito general de esta investigación ha sido establecer la relación entre el manejo del agua que hace una comunidad humana y el estado que tienen los ecosistemas de agua dulce, abordando tanto la calidad de los ríos como la abundancia de una especie endémica de Michoacán, y que se encuentra en una región aledaña a la ciudad de Morelia.

### **3 MANEJO DEL AGUA**

El manejo del agua es el conjunto de decisiones y acciones que se toman respecto al agua en el territorio de una cuenca, el cual tiene repercusiones sobre la calidad y cantidad de agua que está disponible para las actividades humanas y para los ecosistemas (Richter, *et al.* 2003). El manejo del agua es una herramienta que permite establecer normas en torno al uso del agua de manera eficiente, estableciendo una distribución equitativa entre los usuarios del agua, así como acuerdos sobre las actividades que deben llevarse a cabo para asegurar el abasto de agua y el cuidado de este recurso así como de los ecosistemas que lo sustentan (Richter, 2003). El manejo adecuado del agua asegura el acceso al recurso y su distribución equitativa, evitando problemas de escasez de agua, conflictos y su desperdicio o mal uso. De acuerdo con Sokile y Koppen (2004), los habitantes locales son esenciales para el proceso de toma de decisiones en cuanto al manejo del agua, por lo que los acuerdos y normas colectivas en torno al uso de este recurso suelen ser más eficientes y perdurables.

En este intento de utilizar el agua para satisfacer las diversas necesidades humanas, los requerimientos de agua dulce de las especies y los ecosistemas se han descuidado (Richter 2003). La ineficiencia tanto de políticas como del funcionamiento de las distintas infraestructuras utilizadas en el manejo del agua ha dañado seriamente tanto a la sociedad como al ambiente. Un ejemplo de ello, es que más del 20% de las especies de agua dulce se encuentran en peligro debido a las presas, extracción de agua y prácticas de cambio de uso de suelo que han destruido el flujo natural de los sistemas riparios donde éstas se desarrollan (Naiman, *et al.* 2002). Ello, es indicativo de que el manejo del agua para uso humano necesariamente altera el flujo natural de los ríos en diferentes formas. Otros ejemplos son la urbanización descontrolada y la rápida industrialización en los países en desarrollo los cuales han contribuido preponderantemente al aumento en la presión sobre los recursos hídricos (Phal - Wostl, 2007).

#### 4 AGUA PARA LA GENTE Y LOS ECOSISTEMAS

Los ecosistemas de agua dulce además de servir de hábitat fundamental para la vida, son proveedores de un gran número de beneficios para la sociedad; entre los más importantes se encuentra el abasto de agua dulce, retención de nutrientes y remoción de sustancias tóxicas, estabilización del microclima, sumideros de carbono, entre otros. Por lo que es importante llevar a cabo un buen manejo que permita conservar los beneficios que aportan, así como la biodiversidad de los ecosistemas que los proveen (Richter, 2003, Bucher *et al.*, 1997).

En relación con el consumo de agua debe considerarse que existe un límite en cuanto a extracción de agua que pueden soportar los ecosistemas antes de que su funcionalidad, productividad, especies nativas y los productos y servicios que proveen se vean severamente degradados, este límite está definido por las necesidades de agua dulce del ecosistema. Así también, debe tomarse en cuenta el balance entre las inmediatas necesidades humanas de agua y las ambientales de largo plazo para que el ambiente sea reconocido como un legítimo consumidor de agua.

#### 5 SITUACIÓN DE LOS ANFIBIOS EN RELACIÓN A LOS ECOSISTEMAS EN MÉXICO

La ubicación de México y su topografía han favorecido el desarrollo de una gran diversidad de cuerpos de agua así como de una biota diversificada y rica en especies nativas (De la Vega, 2003). El país cuenta con la quinta diversidad más grande de anfibios en el mundo, con 372 especies descritas de las cuales 250 son endémicas, por lo que es considerado como el número tres en especies endémicas de anfibios en el mundo (Frías *et al.*, 2010). En particular la cuenca de Lerma-Santiago, de la cual forma parte el área de estudio, presenta 58% de endemismos. Debido a que cada río presenta un flujo de corriente y una comunidad biótica asociada a estos elementos, la conservación de la integridad ecológica de estos ecosistemas, incluyendo la zona riparia que dependen de la dinámica hídrica natural, es de gran importancia (Naiman *et al.*, 2002).

Los ecosistemas dulceacuícolas en México son especialmente vulnerables debido a distintas causas, entre las cuales se encuentran la extracción excesiva de agua, la construcción de presas, el crecimiento de la mancha urbana, la degradación de la calidad del agua por actividades agrícolas, forestales y domésticas así como la introducción de especies exóticas (De la Vega, 2003).

Los anfibios son una de las especies más afectadas por estos cambios en su hábitat. En México se encuentran en la lista roja de especies amenazadas 16 familias, 52 géneros y 364 especies de anfibios (Frías, *et al.* 2010). Una de las especies más afectadas es *Ambystoma ordinarium*, su presencia en lagos y lagunas del Valle de México y el estado de Michoacán se está viendo afectada por el azolvamiento, la contaminación, la introducción de depredadores exóticos y la captura comercial, lo que representa un factor importante en la disminución de las poblaciones de ajolotes y su posible extinción (Casas y Aguilar, 2004). La distribución actual de *A. ordinarium* se encuentra reducida a la parte sur y sureste del municipio de Morelia en el estado de Michoacán (CONABIO; 2005, CIECO; 2008). Actualmente se encuentra bajo protección especial en la NOM-059-2010.

Por su parte, el sistema ripario proporciona los servicios ambientales de protección y conservación del hábitat, y es una interface que permite la interacción entre los ecosistemas acuático y terrestre (Naiman, *et al.* 1993), que son el principal hábitat para el *Ambystoma*.

Tomando en cuenta que el manejo del agua y del territorio tiene implicaciones en la disponibilidad de agua, tanto para las personas como para las especies en los ecosistemas de agua

dulce, este trabajo busca documentar la forma de manejo de agua en una comunidad que utiliza el recurso de una microcuenca ubicada en la parte alta de la cuenca del Lerma-Santiago.

## 6 OBJETIVOS

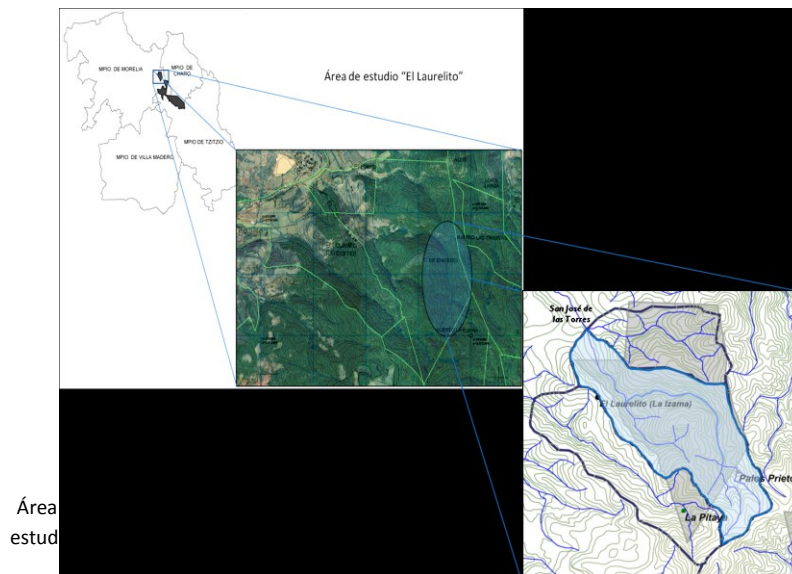
Analizar el manejo del agua en la microcuenca Palos Prietos, donde hay presencia de *Ambystoma ordinarium*, que es utilizada para el suministro de las familias en una localidad periurbana de Morelia.

De forma particular se busca:

- Conocer cuál es el uso del agua de la microcuenca, en cuanto al suministro para la localidad.
- Conocer la forma como se toman las decisiones sobre el agua y el territorio en la microcuenca.
- Determinar el estado del ripario y del canal del arroyo principal de la microcuenca, como un parámetro del impacto de las decisiones humanas sobre los ecosistemas y particularmente sobre la calidad del hábitat de *Ambystoma ordinarium*.

## 7 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la microcuenca Palos Prietos, ubicada en su mayor parte dentro del ejido de Tumbisca, al sur de la ciudad de Morelia, Michoacán. En la parte baja de esta cuenca se localiza la comunidad de El Laurelito, la cual cuenta con un total de 92 personas pertenecientes a 19 familias. En el ejido, la mayor parte de la población se dedica a actividades del sector primario y forestal (extracción de resina), mientras que los sectores secundario y terciario ocupan un bajo porcentaje de la población económicamente activa.



En cuanto al manejo forestal, en la comunidad aprovecha el bosque de pino y de pino-encino, obtiene resina, madera y también leña. Los productos obtenidos son utilizados para autoconsumo, principalmente madera y leña mientras que la resina es comercializada fuera de la comunidad. Los productos agrícolas también son para autoconsumo, se cultivan maíz, frijol y hortalizas. La actividad ganadera es llevada a cabo con ganado vacuno y porcino, y sólo la realizan dos ejidatarios en la comunidad.



## 8 MÉTODOS

Para alcanzar los objetivos del presente estudio, fueron utilizados diferentes métodos descritos en la Tabla 1. La indagación sobre el manejo del agua y la toma de decisiones al interior de la comunidad y Ejido, se realizó mediante entrevistas semi-estructuradas, utilizando el método de bola de nieve y hasta alcanzar la saturación de información. Para conocer la calidad del ripario se utilizaron dos protocolos; uno de ellos evalúa la calidad de la cobertura boscosa en el ripario (QBR, poner nombre completo y cita); y el otro el estado de distintos elementos como el canal del río, el ripario y la zona adyacente (RCE, poner nombre completo y cita). Estas evaluaciones se realizaron en el arroyo de la microcuenca, donde se ha realizado monitoreo de *Ambystoma*, como parte de otros estudios (citar a Zárate, datos no publicados).

Tabla 1. Métodos utilizados según los objetivos del trabajo.

Objetivos	Métodos	Perspectiva
Conocer el uso del agua	Entrevista a habitantes del ejido	Investigación cualitativa, saturación de datos.
Conocer la toma de decisiones	Entrevista semi-estructurada con encargados del orden y los administradores del agua del ejido.	Investigación cualitativa enfocada con método de bola de nieve.
Determinar el estado del ripario	Uso de una adaptación de los protocolos de evaluación de calidad ambiental QBR y RCE.	Valoración cuantitativa – cualitativa.

## 9 RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS

### TEMA 1. ABASTO DE AGUA

Las siguientes gráficas muestran la opinión de las personas de la comunidad en cuanto al suministro de agua y la procedencia de ésta. Consideran que hay un periodo marcado de escasez durante la época de secas, en cambio durante los meses de lluvia el agua les es suficiente para sus actividades. El agua que utilizan proviene de un manantial y la usan para beber y para las actividades diarias del hogar.

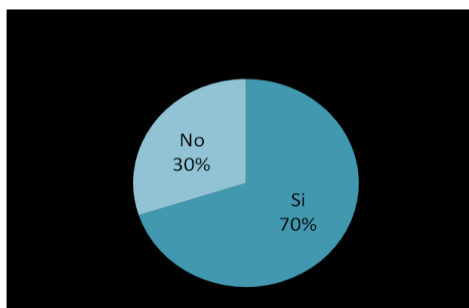


Figura 1. Abasto de agua en el hogar.

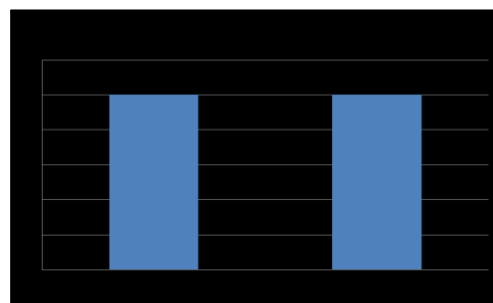


Figura 2. Continuidad del abasto a lo largo del año.

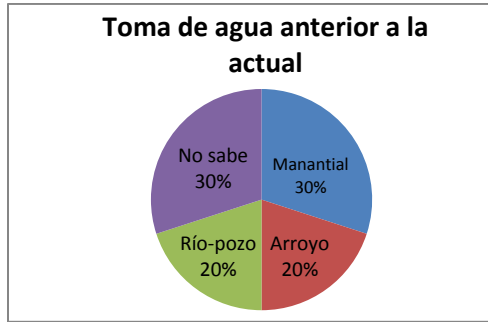
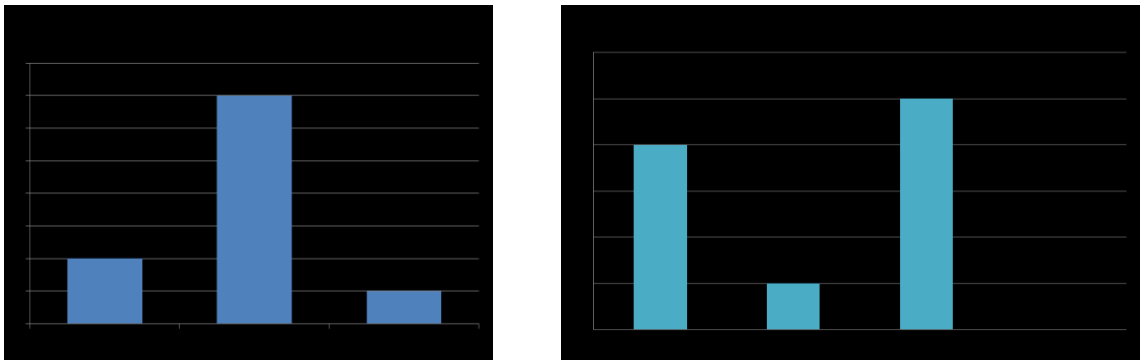


Figura 4. Tiempo durante el cual se han abastecido de esa toma de agua.

## TEMA 2. USO DEL AGUA: CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN

La cantidad de agua que se consume por vivienda está determinada por la cantidad de personas que viven en ella. En El Laurelito es común que habiten una o dos familias en una misma casa, o bien en el mismo terreno, y usan la misma toma de agua para todos. De acuerdo al número de integrantes por familia se distinguen tres categorías: los formados por 5 a 7 miembros que son la mayoría, en menor proporción se encuentran las familias formadas por 8 a 9 miembros y son escasas las familias grandes, con 10 a 13 miembros.



Figuras 4 y 5. Cantidad de agua utilizada por semana para beber y para las actividades diarias por familia entrevistada.

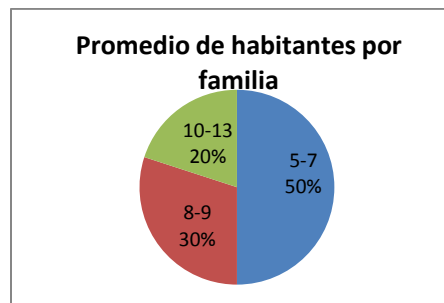


Figura 6. Número promedio de habitantes por familia.

### TEMA 3. ACUERDOS Y TOMA DE DECISIONES DENTRO DE LA COMUNIDAD

La distribución del agua del manantial se realiza por medio de una red por lo que es equitativa. No se cubre un costo por el abastecimiento porque según sus habitantes el manantial pertenece a la comunidad. En cambio se realizan faenas para limpiar el manantial y se ha colocado una cerca para protegerlo. Aunque no hay acuerdos entre las comunidades para cuidar entre sí los manantiales.

Hay una época de escasez en la que se ven obligados a buscar otras alternativas de abasto. No se identificó la presencia de conflictos por el abasto del agua.

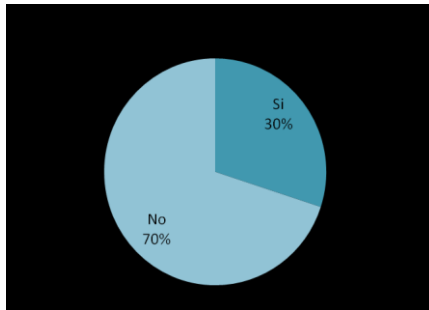


Figura 7. Abasto suficiente durante todo el año para la subsistencia.

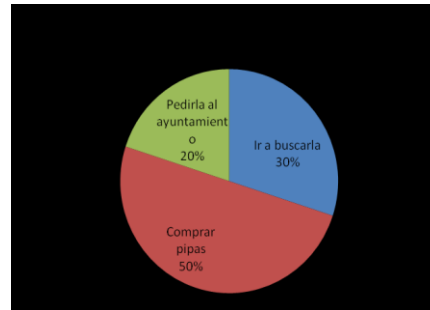


Figura 8. Medidas que toman los habitantes ante la falta de agua

### TEMA 4. EL AGUA: CALIDAD Y RELACIÓN CON EL AMBIENTE

Los habitantes coincidieron en que la calidad del agua del manantial sí esta relacionada con la presencia de vegetación y con la conservación del bosque. También han observado que cuando el bosque ha sido explotado el agua ha disminuido. Identifican claramente la tala del bosque como el factor que hace que el agua del manantial sea escasa, así como la extracción de tierra que se realiza en algunas porciones del ejido.

### EVALUACIÓN DEL RIPARIO CON LOS PROTOCOLOS DE EVALUACIÓN QBR (CALIDAD DEL BOSQUE RIPARIO) Y RCE (RIPARIO, CANAL Y AMBIENTE)

Se evaluaron con las dos técnicas de QBR y RCE 22 segmentos de ríparios, mismos que coinciden en general con los sitios de monitoreo de *Ambystoma ordinarium*. Ambas técnicas evalúan diferentes componentes que a la vez son complementarios para calificar la calidad del ripario. En las gráficas se presenta la evaluación global de los sitios, en general el ripario tiene una calidad buena y aceptable de acuerdo con los dos protocolos.

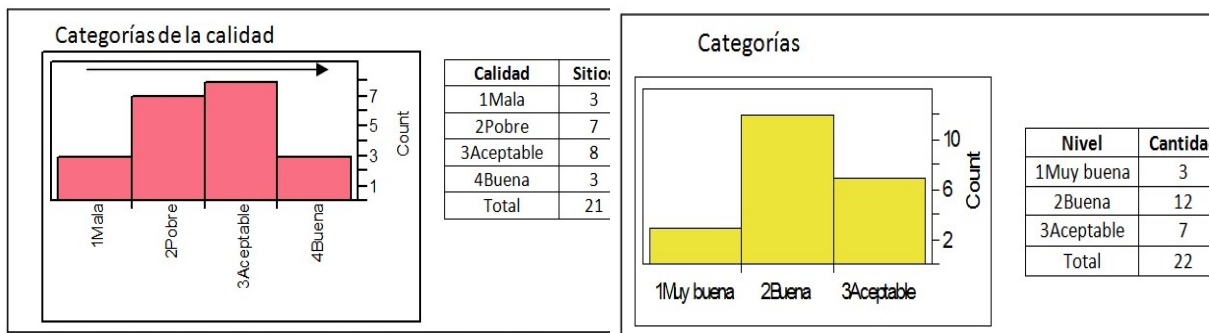


Figura 9. Categorías de la evaluación final de los protocolos QBR y RCE.

## PRESENCIA DE *AMBYSTOMA ORDINARIUM* EN LA MICROCUENCA

La grafica corresponde con el número de meses que se registró *A. ordinarium* en cada sitio. Los meses totales de monitoreo son 10, de modo que es el valor máximo que puede tener un sitio contando las visitas mensuales. El registro muestra la presencia de esta especie en cualquiera de las etapas de su ciclo de vida.

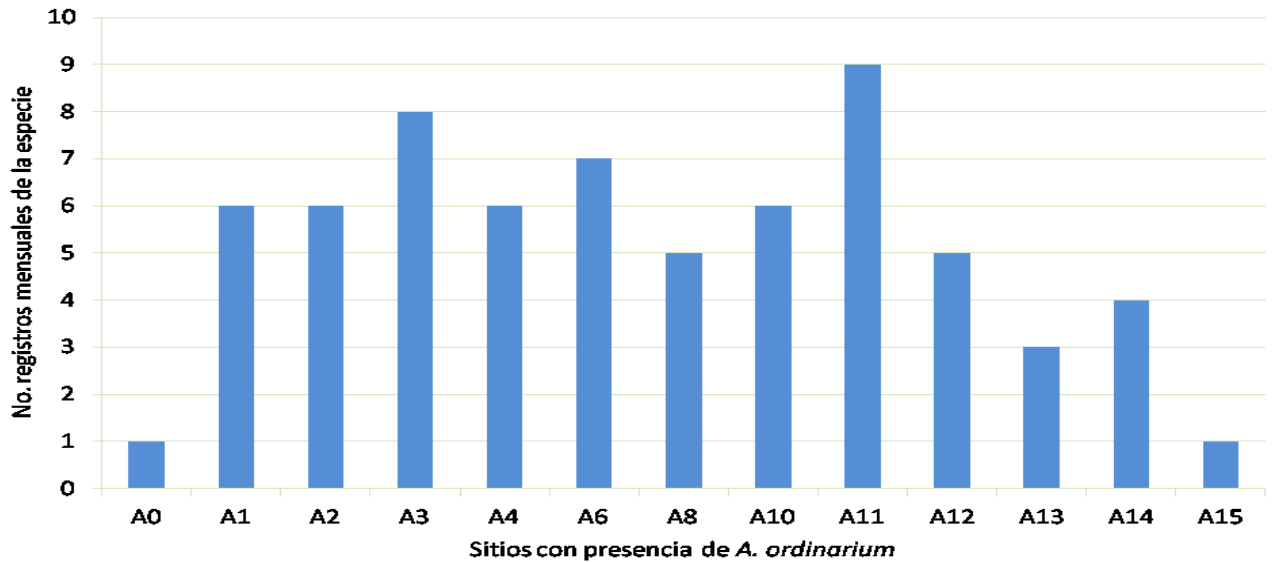


Figura 10. Número de registros de *A. ordinarium* en los sitios de monitoreo de la microcuenca Palos Prietos (2011-12). Fuente: USIG-UNAM, 2012.

Sitio	FA	Puntuación	QBR	Puntuación	RCE
B1	1	75	Buena	254	Muy buena
B2	0	43	Pobre	127	Aceptable
SN	0	43	Pobre	179	Buena
B4	0	58	Media	136	Aceptable
A1	6	90	Buena	250	Muy buena
A2	6	74	Media	255	Muy buena
A3	8	64	Media	200	Buena
A6	7	59	Media	182.5	Buena
A8	5	57	Media	131	Aceptable
A10	6	66	Media	180	Buena
100SP	0	55	Media	181	Buena
1050m	0	18	Mala	117	Aceptable
B5	0	68	Media	145	Aceptable
A11	9	44	Pobre	130	Aceptable
A12	5	45	Pobre	205	Buena
A13	3	55	Media	230	Muy buena
A14	4	14	Mala	137	Aceptable
A15	1	40	Pobre	172	Buena
B1500m	0	60	Media	175	Buena
B1650	0	46	Pobre	155	Buena
B1900	0	30	Pobre	140	Aceptable
B2000	0	25	Mala	113	Aceptable

Figura 11. Comparación de la presencia de *Ambystoma* y la calificación de la calidad del ripario. (FA = frecuencia de registro de presencia de *Ambystoma*)

## 10 DISCUSIÓN

El Laurelito cuenta con el servicio de agua potable en sus casas y de acuerdo a los cálculos se utilizan en promedio 25 l de agua diariamente para beber y cocinar, la cual es una cantidad aceptable comparada con el mínimo que establece la OMS que es de 10 l para lavar y 20 l para cocinar y la UNESCO que establece que en promedio se utilizan 20 l diarios por persona en áreas rurales y lugares con bajos recursos (UNESCO, 2011; OMS, 2009; PNUD, 2006; WHO, 2003). Aunque se debe enfatizar que generalmente el agua que reciben no es suficiente y esta situación prevalece entre las colonias y comunidades de la periferia de la ciudad de Morelia, donde ha aumentado la población y con esto la demanda de suelo y de recursos principalmente el agua (Hernández y Vieyra, 2010). La insuficiencia del agua es más evidente durante la época de secas y el déficit es cubierto mediante la compra de pipas, así como la búsqueda de agua en manantiales o arroyos más lejanos.

Existen pocos trabajos en México que utilicen los protocolos QBR y RCE para evaluar la calidad de hábitat ripario, uno de ellos es el de Rodríguez (2011) quien encontró que el cambio de uso de suelo en las zonas riparias provoca una disminución en la biodiversidad por la disminución de la cubierta vegetal, tal como está ocurriendo en la cuenca Palos Prietos. Este estudio reportó que los cambios geomorfológicos y la presencia y/o ausencia de peces nativos pueden reflejar procesos de degradación ambiental por la actividad antropogénica.

Aunque por parte del municipio no les llega ninguna indicación sobre el cuidado de las zonas riparias, ni existen acuerdos explícitos para cuidar el agua del manantial o del arroyo, la comunidad de El Laurelito toma decisiones propias de acuerdo a sus necesidades, como es el caso de la colocación de una cerca en el terreno donde se encuentra el manantial que suministra agua a las familias, para evitar el paso de animales que puedan contaminar el agua.

Las decisiones de manejo del agua del arroyo y de los manantiales, necesitan contemplar el crecimiento de la población en la comunidad y en las regiones vecinas, así como las necesidades propias de los ecosistemas acuáticos, para que poblaciones como la de *Ambystoma*, puedan mantenerse.

Los acuerdos de manejo del agua, su distribución a las familias, las fuentes de agua utilizadas, están llegando a un punto donde son necesarios nuevos acuerdos, debido a que no es suficiente el suministro durante todo el año para las familias de El Laurelito.

Es necesario buscar alternativas que permitan tanto a la sociedad como a los ecosistemas, tener cubiertas sus necesidades de agua, y que el beneficio de uno no afecte al otro. Ya que algunas de las decisiones más importantes de manejo del agua y del territorio se toman a nivel local, es necesario que las comunidades cuenten con información actual acerca del estado de sus recursos, para que esto les permita implementar medidas de manejo sustentable del agua.

## 11 CONCLUSIONES

El crecimiento de las comunidades periurbanas y la expansión de la ciudad están provocando cada vez más presión sobre el recurso del agua y sobre los ecosistemas que la proveen. La comunidad de El Laurelito y sus comunidades vecinas se encuentran en constante crecimiento y además se ubican cerca de la ciudad de Morelia, lo cual repercute en hace que la cantidad de agua de la que disponen ya no sea suficiente para abastecer a sus habitantes.

Las decisiones que se toman en el territorio de una cuenca son de gran importancia para el manejo del agua porque de éstas decisiones depende también la calidad y cantidad de agua disponible para la población. El manejo del agua les permite a las comunidades establecer acuerdos para distribuir el agua, evitar conflictos y el deterioro de sus recursos. Las decisiones tomadas a

nivel local son muy importantes porque los habitantes de las comunidades están en contacto directo con los ecosistemas y toman decisiones sobre ellos cotidianamente.

En particular, el ecosistema ripario es vital para la conservación de los ecosistemas de agua dulce que se encuentran en la comunidad y debe ser un elemento a considerar en el manejo del agua y del territorio. El cuidado del ripario tiene implicaciones sobre la calidad del agua, tanto para suministro de las familias, como para la conservación del hábitat de la biodiversidad local.

En general la calidad del ripario sí tiene una relación con la presencia del *Ambystoma*. En el manejo del agua que hacen en El Laurelito se considera el cuidado de los manantiales y del arroyo que es de gran importancia para las poblaciones locales de *A. ordinarium*.

Los habitantes de la comunidad de El Laurelito reconocen el valor que tienen sus recursos como son el agua y el bosque, aunque también es necesario que cuenten con información que les ayude a tomar decisiones adecuadas en cuanto al manejo de sus recursos.

## AGRADECIMIENTOS

A las autoridades del Ejido Tumbisca, en especial a la comunidad de El Laurelito y sus habitantes que colaboraron con nosotros.

Al Laboratorio de Comunicación para el Manejo de Ecosistemas, a la Unidad de Sistemas de Información Geográfica y de Informática del CIECO- UNAM.

Al proyecto: “Conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de *Ambystoma ordinarium* en el Ejido de Tumbisca, Mich.” Apoyado por el Departamento de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos, Programa “Anfibios en Declive”.

Al Centro de Investigación en Ecosistemas CIEco. Y a todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto. Gracias.

## REFERENCIAS

- FEA Fondo Para la Comunicación y la Educación Ambiental, CEMDA Centro Mexicano de Derecho Ambiental, Presencia Ciudadana Mexicana. (Eds). (2006). *El Agua en México: lo que todos y todas debemos saber*. México. 96pp.
- UNESCO (2010), Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo.
- Dayli, C. G. (1997). *Nature's Services, Societal Dependence on Natural Ecosystems*. IRLAND PRESS. Estados Unidos de Norteamérica: The Center for Resources Economics.
- Granados Sánchez D., Hernández García M.A.& López Ríos G.F.(2006).Ecología de las zonas ribereñas, *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12(1):55-69, 2006.
- Arcos Torres, I. (2005).*Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras*, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Richter, B. D. Mathews, R. Harrison, D. L. Wigington, R., (2003), Ecologically Sustainable Water Management: Managing River Flows for Ecological Integrity, *Ecological Applications*, 13(1), 295–306.
- Sokile, C. S., Van Koppen, B. (2004). Local water rights and local water user entities: the unsung heroines of water resource management in Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*. 8pp.
- Naiman, R. J. Bunn, S. E. Nilsson, C. Petts, G. E. Pinay G. Thompson L. C. (2002). Legitimizing Fluvial Ecosystems as Users of Water: An Overview, *Environmental Management*, 30 (4), 455–467.
- Pahl Wostl, (2007). Transitions towards adaptative management of water facing climate and global change, *Water Resour Manage*, 21:49–62
- Bucher E. Castro G. y Floris B. (1997).*Conservación de ecosistemas de agua dulce: Hacia una estrategia de manejo integrado de recursos hídricos*, Washington D.C.

- De la Vega Salazar, M. Y. (2003). La situación de los peces dulceacuícolas en México, Instituto de Ecología & UNAM. *Ciencias* (72), 11 pp.
- Frías Álvarez, P. Zúñiga Vega, J. J. Flores Villela, O.(2010). A general assessment of the conservation status and decline trends of Mexican amphibians, *Biodivers Conservation* 19:3699–3742.
- Casas Andreu, G. Aguilar, M. X. (2004). Un regalo poco conocido de México para el mundo: el ajolote o axolotl (*Ambystoma:caudata:amphibia*) Con algunas notas sobre la crítica situación de sus poblaciones. México. *Ciencia ergo sum*, Universidad Autónoma del Estado de México.
- CONABIO. (2005). Ficha *Ambystoma ordinarium* Taylor 1939. Recuperado el 21 de Febrero de 2012 de <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/ise/fichasnom/ejemplares/Ambystomaordinarium00ejemplares.pdf>
- CIEco Centro de Investigaciones en Ecosistemas, CIGA Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM, (2008). Ordenamiento Ecológico Territorial de Morelia, Pág. 326.
- Naiman, R. J., Décamps, H. & M. Pollock. (1993). The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications* 3(2): 209-212.



# COMPORTAMIENTO DE LA CUENCA DE PÁTZCUARO Y PLANEACIÓN DEL MANEJO FUTURO

QUINTAS, Isabel

Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco, UAM-X , email: [iquintas@correo.xoc.uam.mx](mailto:iquintas@correo.xoc.uam.mx)

## RESUMEN

La drástica disminución del nivel del agua del lago de Pátzcuaro de 2.1 metros entre los años 1982 y 1989 (a la que se agregó medio metro más entre los años 96 y 2000, después de un periodo de siete años en que se mantuvo estable), alarmó a las autoridades y a la comunidad, dando lugar a varios estudios sobre las causas del comportamiento del lago. Algunos estudios basados en periodos cortos de datos dan por resultado los modelos de balance hidrológico mostrando el comportamiento cíclico anual. Los modelos estadísticos obtenidos con la información climatológica existente desde 160 a la fecha muestran que la variación del nivel del lago no puede explicarse solamente por los factores climáticos, que los factores antropogénicos son significativos. Los esfuerzos que se necesitan para aminorar el posible impacto del cambio climático superpuesto al cambio demográfico existente, requiere de investigación en torno a la acción colectiva para el manejo de los recursos naturales. El manejo de la cuenca requiere un trabajo participativo de las distintas instancias, desde la federal a los grupos de usuarios locales.

En este trabajo discutimos los resultados obtenidos en la modelación matemática de la cuenca y señalamos el trabajo que es indispensable realizar para poder encontrar y proponer las prácticas de uso adecuadas para el desarrollo sustentable de la cuenca.

**Palabras clave:** modelado cuenca cerrada, hidrología, participación social, modelo integral

## 1 INTRODUCCIÓN

El lago de Pátzcuaro se encuentra en una cuenca cerrada de algo menos de 94 mil hectáreas, que corresponde también a los límites del denominado acuífero de Pátzcuaro. Recibe además de la precipitación directa, una serie de arroyos intermitentes durante la temporada de lluvias, y la aportación del Dren de descarga de aguas agrícolas Zurúmutaro, que conduce las aguas del manantial Chapultepec. La superficie del lago oscila según el volumen de agua que contenga entre las nueve a diez mil hectáreas.

La drástica disminución del nivel del agua del lago de Pátzcuaro de 2.1 metros entre los años 1982 y 1989 alarmó a las autoridades y a la comunidad, dando lugar a varios estudios sobre las causas del comportamiento del lago. Algunos estudios basados en periodos cortos utilizan los modelos de balance hidrológico (Lafragua, Gutierrez, 2005) mostrando el comportamiento cíclico anual pero difícilmente son capaces de modelar el comportamiento del lago a largo plazo. Los modelos estadísticos más sofisticados, permitieron manejar grandes volúmenes de información y experimentar con distintos modelos para buscar las variables significativas.

Estos modelos mostraron que las variables climatológicas no son suficientes para explicar el comportamiento del lago, y no solo eso, mostraron que en los modelos de largo plazo la cantidad de población se convierte en la variable más significativa.

Pero esta componente antropogénica debe ser desglosada para poder evaluar sus efectos adecuadamente; la población incide en el consumo de agua de varias maneras: aumenta el consumo personal y urbano así como las descargas de aguas residuales urbanas; se incrementa la presión por

el uso de la tierra cambiando de bosque natural a pastizal para ganado, uso agrícola y aprovechamiento legal e ilegal de los recursos forestales; aumenta la demanda de agua para uso agrícola que puede ser extraída de aguas superficiales o del acuífero, se construyen micropresas que afectan los cursos de escurrimiento de las aguas superficiales, disminuyendo tanto los aportes directos al lago como la infiltración de las corrientes subsuperficiales; los usos agrícolas también inciden negativamente cuando existen prácticas inapropiadas de cultivo, aumentando las concentraciones de fertilizantes que drenan hacia los cuerpos de agua. A esto se suman los usos turístico y alguna actividad industrial-artesanal.

Conocer todos estos parámetros requiere del trabajo de especialistas en diferentes áreas para poder evaluar el cambio de uso de suelo, situación de propiedad de la tierra, la situación de los bosques, el comportamiento del acuífero a lo largo de periodos pasados y de las prácticas y usos de los pobladores así como sus formas de organización para hacer frente a estos problemas. El trabajo de la Dra. Ostrom y su grupo (Pottete y all, 2012) analiza como los grupos colaborativos *pueden conjuntar sus datos y aprovechar habilidades metodológicas complementarias* para aportar al mejor conocimiento de los problemas complejos como este en el que se trata recursos naturales, algunos de uso común y donde intervienen desde la esfera federal (el agua es un recurso de la nación) hasta las comunidades locales de usuarios y en esta zona se trata de comunidades indígenas con sus usos y costumbres.

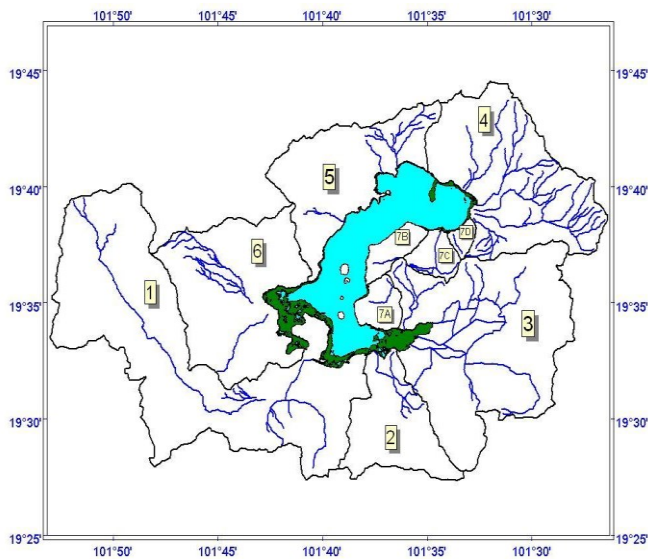
## **2 MODELOS REALIZADOS**

En este apartado mencionaremos dos modelos hidrológicos que se han realizado para el estudio del comportamiento de la cuenca, aunque sabemos que otras instancias deben también haber analizado este caso, no solo los aspectos hidrológicos, sino que se han realizado estudios de contaminación de especies invasoras.

### **2.1 BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA. COMPORTAMIENTO ESTACIONAL**

A partir del año 2004 el IMTA comenzó a monitorear la cuenca del lago de Pátcuaro con el apoyo de la Fundación Río Arronte con el objetivo de realizar el balance hidrológico de dicha cuenca. Este proyecto ha permitido la recolección de mucha información de carácter climatológico con un nivel de discretización que llega a unos pocos minutos. No así de la información hidrológica ya que no se monitorearon los caudales de los arroyos intermitentes. Se hizo un estudio de tipos de suelo y se cuenta con el análisis de imágenes SPOT de satélite en dos momentos para determinar el uso de suelo, sin embargo estos estudios no son homogéneos.

El balance se realiza por subcuenca y a nivel mensual considerando las variables: lluvia, escurrimiento superficial, aporte del acuífero, evaporación del espejo de agua, evaporación de la vegetación y extracciones. En el estudio, las extracciones se supusieron constantes por falta de información fidedigna y la contribución acuífero-lago fue estimada de manera indirecta. El escurrimiento superficial es determinado por la precipitación, el tipo de suelo y otros factores para cada subcuenca y los términos de evaporación a partir de datos medidos de humedad, temperatura, etc.



**Figura 1.** Mapa de la cuenca de Pátzcuaro, la hidrología y las subcuencas en que se dividió.

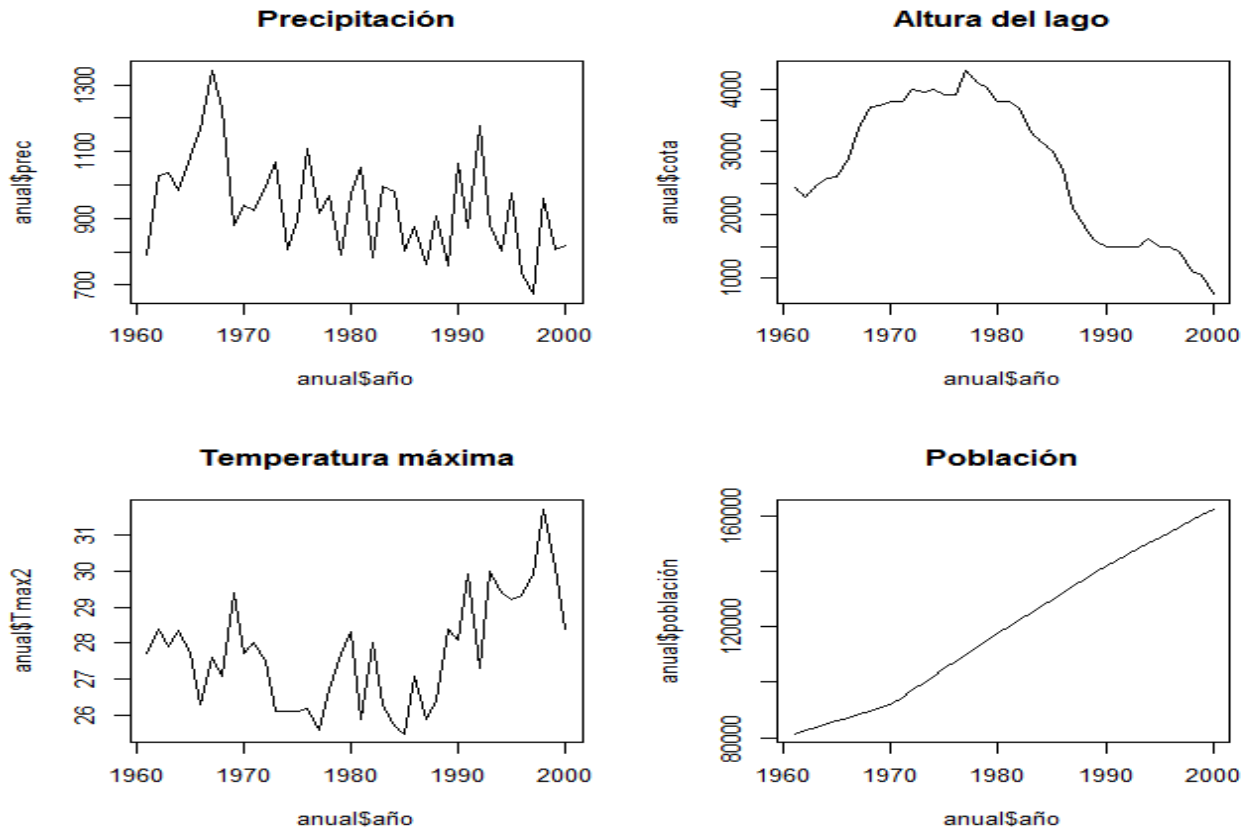
El balance hidrológico realizado a partir del año 2006 muestra el comportamiento estacional del lago. La elevación calculada suele estar por debajo de la real durante los meses de estiaje y por encima durante los meses de lluvia. Esto se puede explicar porque se realiza el cálculo mensual sin tomar en cuenta los aspectos inerciales que presenta la cuenca se deben a la interacción acuífero-lago que no ha sido suficientemente estudiada. Además este modelo no puede realizar pronósticos a largo plazo ya que prácticamente parte de la información del mes anterior y de los datos climáticos del mes.

## 2.2 MODELO ESTADÍSTICO DE LARGO PLAZO

Para realizar el modelo estadístico se utilizaron los datos climatológicos del periodo 1961 a 2000 de la base de datos Maya, los datos de población del INEGI y la información de la altura del lago registrados por la CNA. También se realizó un modelo para observar el comportamiento cíclico con los datos mensuales del estudio realizado por el IMTA., aunque en este último modelo no se introdujo un predictor que tomara en cuenta los efectos antropogénicos pues no se contaba con una variable detallada mensualmente o estacional.

La técnica utilizada fue la de los modelos aditivos generalizados, GAM (Hastie, Tibshirani, 1986) que consiste en una generalización de los modelos de regresión lineal múltiple, donde se suman de funciones suaves (b-splines) y por tramos, lo que permite especificar el modelo como suma de funciones que muestran las relaciones entre los predictores y la variable a predecir.

La observación de los datos muestra que a partir de los años ochentas la altura del lago baja más de dos metros cuando la precipitación acumula varios años con anomalías negativas de lluvia, cierto incremento en las temperaturas máximas alcanzadas y la población supera los 110 mil habitantes. El modelo encontrado indica que la variable población es la más significativa de las variables predictoras, seguida de la anomalía acumulada. Al analizar las autocorrelaciones en el tiempo de las distintas variables con el nivel del lago se encontró que este estaba significativamente correlacionado con la precipitación de los diez años anteriores, lo que coincide con el carácter de reservorio que es un lago, además de mostrar que no se trata de un simple proceso de lluvia, escurrimiento evaporación, sino que intervienen los procesos mucho más lentos de infiltración, recarga de acuífero, interacción acuífero-lago. El modelo encontrado explica más del 98% de la variabilidad.



**Figura 2.** Variables anuales 1961-2000: precipitación, temperatura máxima, nivel del lago y población de la cuenca.

También se construyó un modelo con los datos mensuales de los años 2003-2011 que no incluyó información de los efectos provocados por el hombre. El modelo muestra la componente estacional pero no puede representar a la tendencia, lo que sugiere que es necesario incorporar los factores antropogénicos para conocer como estos inciden a corto plazo y poder elaborar políticas y planes de adaptación para un manejo integral de la cuenca y que involucren a la población local. El modelo encontrado también muestra un retardo de varios meses entre la precipitación y la altura del lago que ayuda a explicar las diferencias encontradas en el balance mensual y que permitirán una vez correlacionadas con los diversos factores, tomar medidas con tres o cuatro meses de anticipación.

## 2 TRABAJO POR HACER

Para poder llegar a proponer un plan de manejo sustentable de la cuenca que permita el desarrollo armonioso del entorno y de sus pobladores originarios es necesario realizar un estudio integral, esto es un estudio interdisciplinario donde lo social sea tomado en cuenta por grupos de investigadores multidisciplinarios y por la población. Se trata de un problema de manejo de recursos naturales, de recursos de uso común, en una región donde convive la propiedad comunal y la propiedad privada. Estudios de este tipo solo pueden tener éxito si se logran formar los grupos de investigadores cooperativos (Pottete &, 2012)

Esta no es la única cuenca que ha sufrido este proceso; el lago de Chapala, de mucho mayor que Pátzcuaro, y con una cuenca que recorre varios estados, pasa por regiones agrícolas y urbanas a lo

largo de cientos de kilómetros, ha sufrido los abatimientos de los años cincuentas y los ochentas de forma casi idéntica lo que lleva a suponer que hay fenómenos globales que las afectan por igual. La realización del balance hidrológico tradicional no alcanza a mostrar los efectos que repercuten años más tarde; es necesario complementarlos con los estudios estadísticos de gran número de periodos y técnicas más sofisticadas que tomen en cuenta la evolución de las actividades humanas, para poder pensar posteriormente en planificar que actividades, con que impacto y en que periodos se pueden realizar sin afectar la sustentabilidad del sistema.

Entre los estudios de los aspectos físicos que es necesario recopilar (y llevar a cabo aquellos de los que no se encuentre información) se pueden mencionar los siguientes, y es importante ver que instituciones pueden colaborar en este sentido:

- Es necesario hacer un estudio sistemático de uso de suelo para los últimos años; las imágenes de Landsat están disponibles gratuitamente desde 2007; tal vez el Instituto de Geografía de la UNAM que posee una base de datos de imágenes satelitales podría aportar esta parte.
- Parece que México no está utilizando la información datos satelital disponible. Las distintas instituciones han comprado imágenes y las han analizado para proyectos específicos pero no se cuenta con una base de datos abierta. Existen datos satelitales desde los años ochenta y algunas fotografías aéreas de años anteriores, para ciertos sectores. Desde el 2000 se cuenta con la información del sensor MODIS de los satélites Terra que permiten calcular la evapotranspiración y la fotosíntesis. La información que proveen estos satélites permite monitorear los procesos de deforestación, desertificación, contaminación, cultivos, etc.
- Sería importante introducir los parámetros de evaporación en la superficie del lago y sobre la superficie terrestre de la cuenca; esta información existe en los datos del IMTA a nivel diario. Es muy importante que esta red se mantenga en funcionamiento algunos años más al tiempo que se restablece la estación climatológica tradicional de Pátzcuaro de la Comisión Nacional del Agua, que dejó de reportar desde 1997 aproximadamente.
- También ayudaría a este estudio el que el Servicio Meteorológico Mexicano actualizara la base de datos Maya (fuente de información interpolada regular del periodo del siglo xx) hasta el año 2010; actualmente se tiene hasta el año 2000. Este trabajo es imprescindible para este y muchos otros estudios.
- El IMTA cuenta con un área de aguas subterráneas; dado el posible funcionamiento integrado de la cuenca superficial, el lago y el acuífero, es necesario que se realicen estudios actuales así como búsquedas de información histórica sobre el acuífero. El Instituto de Geografía de la UNAM también cuenta con un área de hidrología subterránea.
- Se necesita información y control sobre las extracciones tanto de aguas superficiales como de las subterráneas.

Y esto debe integrarse con los estudios sociológicos, antropológicos, jurídicos y de políticas públicas que permitan entonces la planeación del manejo sustentable e integral de la cuenca.

### 3 CONCLUSIONES

Con los datos utilizados y los modelos construidos para simular el comportamiento del lago se pueden determinar cuales son los factores climáticos que afectan el comportamiento del lago y como lo hacen, así como aseverar que la actividad humana produce efectos que afectan significativamente el volumen de agua almacenada. Otros estudios dan cuenta de las alteraciones químico-biológicas que también tiene lugar como consecuencia de la actividad humana y del mal manejo de la cuenca.

Para poder realizar medidas de planeación y adaptación a largo plazo es necesario tener un mayor detalle de cómo se dan las interrelaciones en la cuenca. A continuación se señalan algunas de las conclusiones particulares.

- La Cuenca de Pátzcuaro es aún una zona rural no muy poblada, y a grandes rasgos se puede decir que menos de 3% de su territorio corresponde a territorio urbanizado, menos del 30 % es utilizado para la agricultura y tal vez un 10% se ocupe para pastoreo, otro 10% lo ocupa el lago y el resto está conformado por bosque, matorral y acahual. La densidad poblacional es de 2 individuos por hectárea. De los 180 mil habitantes, casi la mitad, 86 mil viven en el municipio de Pátzcuaro dedicándose especialmente a los servicios turísticos. El mantenimiento y recuperación del lago es por lo tanto prioritaria entonces para el equilibrio y sustentabilidad ecológica de la región como desde el punto de vista social y económico.
- El modelo de largo plazo indica que la componente humana es la definitoria respecto al nivel del lago, y en segundo término los factores climatológicos dados por la anomalía de precipitación acumulada. La observación detenida del modelo permite observar que:
  - a) La anomalía de precipitación de los ocho años anteriores puede modelar el comportamiento del lago hasta que se llega a una población de 120,000 habitantes, que representaría el límite de población para una autorregulación del sistema.
  - b) La máxima correlación entre la altura del lago y la precipitación con un atraso de cuatro años en una cuenca tan pequeña, escurrimientos de menos de 30 kilómetros, indica que el sistema responde más al proceso de infiltración, recarga de acuífero, intercambio lago acuífero, que al proceso de lluvia escurrimiento, por lo tanto es necesario estudiar los niveles del agua en el subsuelo.
  - c) La variable número de habitantes no es suficiente para medir y explicar los efectos antropogénicos y debe ser desglosada en población rural y urbana, así como en índices de uso del suelo en al menos urbano, bosque, zonas de cultivo y zonas de pastoreo. También es necesario conocer los bombeos superficiales y subterráneos así como la distribución de mini embalses.
  - d) Los estudios reportados por el IMTA sobre cambio climático no son concluyentes para esa región, mientras indican aumento de la temperatura, el trabajo de Montero indica disminución de la precipitación, mientras que Priego pronostica aumentos en la precipitación debido al incremento de la actividad ciclónica. Ante esta incertidumbre es importante tener alguna capacidad de planificación para periodos de cinco a 10 años.

- En el modelo cíclico anual el factor determinante es la anomalía de precipitación acumulada, seguida de la precipitación mensual. En este modelo no se incluyeron variables antropogénicas porque no se contaba con información confiable. Las conclusiones particulares sobre este modelo son:
  - a) El comportamiento del lago es perfectamente cíclico aumentando su nivel a partir del mes de julio hasta octubre o noviembre donde llega a un máximo 50 centímetros en promedio por arriba del nivel más bajo en mayo o junio.
  - b) El nivel medio o la envolvente de los ciclos anuales tiene un comportamiento que responde a la anomalía acumulada, como lo señala el modelo de largo plazo, donde es fundamental al menos la precipitación de los dos ciclos anteriores. Otra vez, debido a lo corto de la serie de tiempo no se descartaron los primeros valores de la serie de acumulados. Se puede observar como las anomalías negativas de precipitación que comienzan a mediados de 2007 y continúan hasta 2009 llevan a los valores mínimos a finales del 2009 y principios de 2010.
  - c) La función de interpolación de la anomalía acumulada muestra que cuando esta supera los 200 mm, provoca un incremento creciente del nivel del lago.
  - d) En el modelo cíclico anual, la precipitación mensual entra como variable significativa ya que es la que da cuenta del escurrimiento superficial que aparece como arroyos intermitentes durante el período de lluvias. La temperatura aparece como un factor más importante a medida que la temperatura está por encima de los 24°C, incrementando los procesos de evapotranspiración.
  - e) Este modelo que integra solo variables climatológicas puede explicar el 80% de la variabilidad que ocurre en este periodo con el nivel de agua del lago; por lo tanto deben existir factores de origen antropogénico. Los reportes del IMTA presentan datos de uso de suelo para los años 2003 y 2008 y una actualización a 2010, a partir de imágenes SPOT, pero las categorías empleadas en ambas imágenes no coinciden, además de indicar un incremento del 200% en la superficie de zona urbana de 2008 a 2010, que no se da en los hechos.

### **AGRADECIMIENTOS**

Ambos modelos fueron realizados en lenguaje R, bajo la asesoría del Dr. Willem Vervoot de la Universidad de Sydney como resultado de un taller producto de un programa de cooperación de Australia con México. Los datos del periodo 2004-2012 fueron recolectados por el IMTA bajo el proyecto de Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro bajo el auspicio de la Fundación Gonzalo Rio Arronte y agradecemos especialmente a la M.I. Jaqueline Lafragua el acceso a dicha información.

### **REFERENCIAS**

- Hastie, T. y Tibshirani R. 1986. Generalized Additive Models. *Statistical Science*, Vol.1, N° 3, pp. 297-318
- IMTA, 2010. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. IMTA, pp. 46, 48 y 77.
- IMTA, 2012. Balance hídrico y capacitación en la infraestructura de monitoreo de la Cuenca de Pátzcuaro. Reporte de proyecto.
- Lafragua, C.J. y Gutiérrez L.A. 2005. Balance hídrico en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro. *Informe final. IMTA-FGRA*, México, pp.15-46.
- Poteete, A., Janssen, M. y Ostrom, E. 2012. Trabajar juntos, Acción colectiva, bienes comunes y múltiples métodos en la práctica. UNAM-FCE y otros.





# APROXIMACIÓN HOLÍSTICA PARA EL MANEJO INTEGRADO DE LAS CUENCAS Y EL CAUDAL ECOLÓGICO: ESTUDIO DE CASO.

Rebeca GONZALEZ-VILLELA

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, México. E-mail: [rebeca\\_gonzalez@tlaloc.imta.mx](mailto:rebeca_gonzalez@tlaloc.imta.mx)

## RESUMEN

La metodología holística DRIFT y cuatro métodos de caudal ecológico (Tennant Modificado, IHA, Multivariados y PHABSIM) fueron utilizados para la integración multidisciplinaria de la información biofísica (hidrología, hidrodinámica, geo-hidrología, topografía, vegetación, suelo, calidad del agua, ictiología, entomología, hidrofitas, manglar, bosque de galería) y socioeconómica (desechos, riesgos irrigación, tecnificación y temporalidad agrícola, actividades agrícolas e industriales, zonas de tránsito, área sembrada, población, costumbres, cultura, migración, empleo y turismo) del Río Verde (Oax.), en relación con la evaluación y proyección de los caudales ambientales (para la estación seca y húmeda) como medida de manejo y mitigación de los impactos ambientales en el proyecto de presa “Paso de la Reina”. Los caudales ecológicos recomendados en ( $m^3/s$ ) fueron: Caudales Extremos Bajos de 12.75 a 30.0; Caudales Bajos de 32.1 a 70.15; Caudales Altos de 150 a 260; Pulsos de Caudal Altos de 350 a 500; Pequeñas Inundaciones 548.52 a 1000 y Grandes Inundaciones de 3000 a 4000. Estrategia de caudales que cubre las características de frecuencia, duración, magnitud y periodicidad para mantener las condiciones hidráulicas, la geometría del canal, el balance de agua en la desembocadura, tipos de sedimentos y el hábitat para los organismos terrestres y acuáticos a lo largo del río. Se describen las consecuencias de la alteración parcial o total de los componentes del caudal ambiental, y se generaron los escenarios de caudal en relación con cierta condición de estado ecológico para el río y las especies analizadas, así como las evaluaciones de impacto, medidas de mitigación y planes de manejo de la cuenca.

**Palabras clave:** Manejo sustentable del agua, caudal ambiental, impacto ambiental.

## 1 INTRODUCCIÓN

El ambiente es tratado como un aspecto marginal, y en la actualidad es la clave para el manejo sostenible del agua. El ambiente representa un tipo especial de usuario del agua y en muchos aspectos constituye la parte central del manejo de los recursos acuáticos, puntos que se consideran como críticos para el desarrollo y salud de las poblaciones, la reducción de la pobreza, en la productividad agrícola, industrial y energética, y para el desarrollo sostenible de las comunidades aledañas a los ríos. Las estrategias ambientales deben de enlazar y balancear los intereses entre el manejo sostenible del recurso acuático, sustentabilidad ambiental y pobreza (Dyson et al., 2003; Arthington, y Lloyd, 1998; Tharme, 2003; Lytle y Poff, 2004). Los ríos soportan múltiples usos, que incluyen el suministro de agua para consumo humano, la pesca, la recreación, la agricultura, así como la prevención y control de la corriente y la erosión, donde la sedimentación y el exceso de nutrientes son las causas más significativas de la degradación del hábitat para la vida silvestre en un 44% (Komar, 1976; Fisher y Kumer, 2000; Dyson et al., 2003), con el tiempo los efectos acumulativos en los cambios del entorno dan como resultado variaciones significativas en los ríos, en los corredores fluviales y en los ecosistemas asociados, que se manifiestan en la degradación de la calidad del agua, en el decremento en la capacidad de almacenamiento, en la pérdida de hábitats para los peces y la vida silvestre, y en el deterioro del valor recreacional y estético (Gustard, 1992;

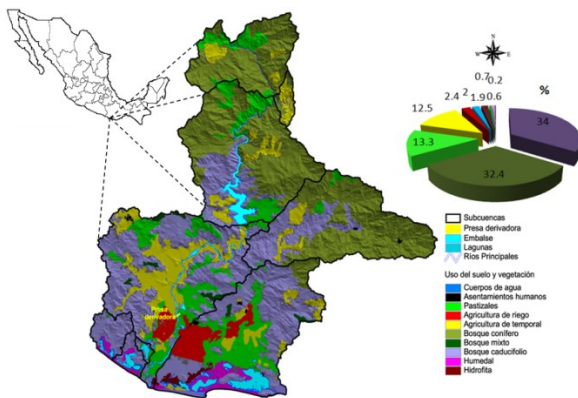
Arthington, 1998 y 2000; FISRWG, 1998; Gafny et al., 2000; Jungwirth et al., 2000; Brown y King, 2003a).

Para el manejo integrado de las cuencas se requiere un enfoque holístico consistente en la participación de muchas disciplinas, en donde cada especialista utiliza los métodos de su elección para desarrollar una relación caudal – ecosistema entendible, con la finalidad de generar un marco de conocimiento ambiental, social y económico general asociado al análisis del régimen de la frecuencia y duración de los diferentes flujos que son necesarios para mantener la estructura y función del río, aspectos que representan el fundamento para el manejo integrado de las cuencas (Bunn y Davies, 2000; Poff et al., 2009).

En el presente estudio se aplican al Río Verde (Oaxaca), la metodología holística DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformations o Respuesta Río Abajo a las Transformaciones Impuestas al Caudal), y otros cuatro métodos de caudal ecológico (Tennant Modificado, IHA, Multivariados y PHABSIM) para la cuantificación y la determinación de las estrategias de los regímenes de caudal, para generar los escenarios e indicadores de impacto en los módulos biofísico y socioeconómico, así como las medidas de mitigación y seguimiento con los caudales proyectados en el aprovechamiento hidráulico Paso de la Reina del río Verde (Oaxaca), con la finalidad de generar un manejo integrado de la cuenca y lograr mantener el equilibrio y la función del sistema fluvial con la operación de la presa.

## **2 ÁREA DE ESTUDIO**

La cuenca del río verde se encuentra localizada dentro de la Región Hidrológica No. 20 (RH20) “Costa Chica Río Verde”. El río Verde forma parte de la cuenca del Balsas, con una longitud de 600 km, nace al noroeste de la ciudad de Oaxaca con el nombre de Atoyac y descarga sus aguas en el Pacífico, tiene una superficie de 1,122.71 km<sup>2</sup>, y se encuentra delimitada al Norte por las cuencas hidrológicas Río La Arena 1 y Río Atoyac, al Sur por el Océano Pacífico y la región hidrológica número 21 Costa de Oaxaca, al Este por la región hidrológica número 21 Costa de Oaxaca y al Oeste por la cuenca hidrológica Río La Arena 2. La cuenca está caracterizada por tener climas secos en la parte alta. En la parte media y baja se presentan climas lluviosos con temperaturas semicálidas y cálidas (Fig. 1 y 2). El máximo de elevación en la cuenca es de 2,600 m. La vegetación dentro del Sistema Ambiental Regional (SAR) está constituida por bosque caducifolio (34%), bosque de coníferas (32.4%), pastizales (13.3%), agricultura de temporal (12.5%), agricultura de riego (2.4%), cuerpos de agua (2.0%), hidrofitas (1.9%), bosque mixto (0.7%), humedales (0.6%) y asentamientos humanos (0.2%). La diversidad natural de las zonas altas (humedales, corredor fluvial y estuarios) del Río Verde soporta una amplia variedad de flora y fauna. A lo largo del río se conservan los caudales naturales. Sin embargo, una derivadora y un bordo de protección a ambos lados del río en la parte baja (24.20 km), fueron construidos por CONAGUA (1994) para la protección de las actividades agrícolas. Los estuarios soportan numerosas actividades que contribuyen a la economía de la región, como la agricultura, desarrollo urbano, turismo así como la pesca comercial y turística del Parque Nacional Laguna de Chacahua (CFE, 2008; González-Villela, 2010).



**Figura 1.** Hidrología, uso del suelo y vegetación para la cuenca del Río Verde, Oax. (modificada de CFE, 2008)



**Figura 2.** SAR y segmentos del río Verde evaluados con la metodología DRIFT para la identificación de impactos

### 3 MÉTODOS

Registros hidrométricos de 42 años para el cálculo de los caudales ecológicos dentro del SAR fueron obtenidos de las estaciones hidrométricas: El Carrizo (20021) y Paso de la Reina (20017) del río Verde (Oaxaca), controladas por la CFE y CONAGUA, respectivamente. La información geográfica digital de la hidrología, topografía, uso de la tierra, tipo de vegetación y suelo de la cuenca a través de imágenes de alta resolución supervisadas (QuikBird y LANDSAT ETM). Los análisis hidrológicos históricos de siete estaciones hidrométricas aplicando el criterio del World Meteorological Organization (WMO). La disponibilidad de agua subterránea a través de análisis isotópicos de  $^1\text{H}_2$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  y  $^{18}\text{O}$ . Los modelos hidráulicos a través de imágenes LANDSAT y los métodos HEC-RAS V-4.0, HEC-HMS V-4.0 y FLO-2D. La calidad del agua incluyó el análisis de  $\text{O}_2$  (mg/L), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), turbidez (UNT), alcalinidad (mg/L), pH, conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), potencial-redox (mV) a través de una sonda multiparámetro YSI – 6000. Los estudios de peces, macroinvertebrados y la ecología de la vegetación acuática y terrestre a través de la preferencia de hábitat, simulación del hábitat y análisis multivariados (Agrupación, Componentes Principales y Análisis de Discriminantes). El módulo socioeconómico fue desarrollado por agrónomos, sociólogos y antropólogos utilizando entrevistas directas y estandarizadas a los agricultores, granjeros y propietarios en relación con los requerimientos de agua proporcionada por la CONAGUA, así como la información estadística del uso del suelo y características edáficas (World Soil Resource Reference-WSRR). Los caudales ecológicos calculados por el Método de Tennant Modificado (García et al., 1999), Hidroperiodo (IHA, Indicadores de la Alteración Hidrológica; TNC, 2006), Preferencia de Hábitat (multivariados; González-Villela 2007) y Simulación del Hábitat (PHABSIM, Physical Habitat Simulation System; Hardy et al. 1997; CFE 2009). Cada disciplina elaboró una lista de indicadores de impacto generados para la evaluación del sistema. Las causas y efectos relativos entre los factores de estrés y los indicadores clave, cambios temporales en el uso de la tierra y tipos de cubierta vegetal con la presencia de factores antrópicos en el área de la Cuenca del Río Verde (Oaxaca), fueron evaluados por el panel de expertos (hidrolólogos, hidrodinámicos, geólogos, geógrafos, limnólogos, zoólogos, ictiólogos, botánicos de vegetación acuática, terrestre y manglar de diversas instituciones) utilizando modelos conceptuales para los módulos biofísico y socioeconómico para relacionar las categorías de caudales a la morfología del canal, hidráulica, zona de inundación y estado ecológico del río, apoyados por los

sistemas de información geográfica (GIS), a través del análisis de: 1) indicadores de impacto sugerida por cada disciplina, 2) estado actual del indicador, 3) tendencias y escenarios con los cambios de caudal, 4) evaluación del impacto a través de la ecuación (1), y 5) medidas de mitigación para cada indicador y disciplina, acorde con la metodología sugerida por Bojórquez (1989), Bojórquez-Tapia (2005), Cloquell-Ballestert et al., (2007).

Los impactos se marcaron en la región de estudio utilizando una escala de severidad de la respuesta con valores dentro del rango de 13 a 76 (Tabla 1). La evaluación de impactos fue obtenida con la fórmula (1) indicando el abatimiento del estado de salud del ecosistema fluvial cuando el resultado es alto, en relación con la escala de color con marcas en el área de la cuenca (azul = muy buena condición; verde = buen estado; amarillo = aceptable; naranja = deficiente y rojo = mala condición). Cada impacto fue emitido por cada experto a través de una evaluación “atributo por atributo”, tomando en consideración la consistencia en las evaluaciones (desviación estándar evaluada por cada experto) y consenso (grado de acuerdo entre los interesados) en forma similar a la metodología multicriterio utilizada por Bojórquez-Tapia et al. (2005) y metodología DRIFT señalada por Brown y King (2003a,b,c). Los resultados fueron trasladados a valores numéricos (evaluación por expertos) para facilitar la significancia de las evaluaciones.

(1)

$$IA = \pm (3I+2EX+MO+PE+RV+SI+AC+EF+PR+MC),$$

Donde: IA = impacto ambiental; N = Naturaleza (benéfica o perjudicial + o -), I = Intensidad (grado de incidencia con valor máximo de 12); EX = Extensión con radio de 10 km (parcial), una o varias comunidades (extenso), todo el sistema ambiental regional (crítico); MO = Momento (plazo de la manifestación del efecto de impacto); PE = Persistencia (< 1 año como fugaz, 1 a 10 años temporal, más de 10 años como permanente);

RV = Reversibilidad (posibilidad de reconstrucción); SI = Sinergia (reforzamiento de efectos simples); AC = Acumulación (incremento progresivo); EF = Efecto (directo-primario, indirecto-secundario); PR = Periodicidad (intermitente o discreto, periódico o estacional) y MC = Recuperabilidad (+) o irrecuperabilidad (-).

Tabla 1. Condición del sistema fluvial en el área de la cuenca a través de la evaluación del impacto (ecuación 1)

Estado del Sistema	Color Asociado	Valor del Impacto	Signo
Muy buena	Azul	13 - 26	+ ó -
Buena	Verde	27- 39	+ ó -
Aceptable	Amarillo	40 - 52	+ ó -
Deficiente	Naranja	53 - 65	+ ó -
Mala	Rojo	66 - 76	+ ó -

Las evaluaciones de impacto en el área de estudio se efectuó considerando varios segmentos, en base a los cambios en la estructura del río en el plano longitudinal (ancho y profundidad río abajo debido al incremento del área de drenaje y descargas): 1er (embalse).- área de inundación, caracterizada con altas pendientes cortadas a tajo en forma de V dentro del valle, con presencia de rápidos y cascadas; 2do.- presa de cambio de régimen (PCR), caracterizado por presentar

pendientes empinadas, alta erosión de sedimentos por las altas pendientes en el área de la cuenca y la influencia de la precipitación; 3ro.- de la PCR a la derivadora (Ricardo Flores Magon, RFM) o zona de transferencia que recibe material erosionado, caracterizado por una zona de inundación amplia y patrones meándricos; 4to.- de la derivadora (RFM) a la desembocadura del río, con poca elevación, meandros y un valle plano con una zona de deposición como proceso dominante; 5to.- la laguna de Chacahua a 5 km de la desembocadura en la margen izquierda; 6to.- Lagunas del Espejo y Minuyua ubicadas a 1.47 km de la margen derecha del río; y 7mo.- la confluencia del Río La Leche-Río Verde en la parte alta.

#### 4 RESULTADOS

El cálculo del caudal ecológico utilizando el método de Tennant Modificado, IHA, Preferencia de Hábitat y PHABSIM generaron rangos para cada grupo de caudales, con el propósito de obtener márgenes de operación o de manejo de la presa cuando las condiciones ambientales generen años secos (valor más bajo del rango en el grupo de caudales) y los años húmedos (o valor más alto para cada grupo de caudales, Tabla 2).

**Tabla 2.** Caudales ecológicos calculados a través de los métodos de Tennant Modificado, IHA (Indicators of Hydrological Alteration), Preferencia de Hábitat y PHABSIM (Physical Habitat Simulation System) para años secos y lluviosos.

Grupo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Duración y época
Caudales Extremos Bajos	12.75 - 30.0	15 días en abril.
Caudales Bajos	32.1 - 70.15	Noviembre - mayo.
Caudales Altos	48.15 - 260	Junio - octubre (alternar Pulsos de C. Altos)
Pulsos de Caudal Altos	350 - 500	Julio y agosto (5 – 15) en 1ros. días de sept.
Pequeñas Inundaciones	548.52 - 1000	Durante septiembre
Grandes Inundaciones	3000 - 4000	1ros. días de septiembre (3ero. o 5to. día).

El propuesto esquema para los caudales ambientales es consistente con la aplicación de los análisis multicriterio y estudios multidisciplinarios efectuados en relación con el comportamiento natural hidrológico e hidrodinámico del Río Verde, la conservación del agua subterránea de la Cuenca, la conectividad de la zona de inundación (Lagunas Laválo, Chacahua, El Espejo y Minuyua), la calidad del agua, la disponibilidad de agua para la vegetación del corredor fluvial (bosque de galería e hidrofitas), los humedales, estuarios, comunidades de peces, macroinvertebrados, y manglar, como lo señalaron los resultados de: 1) el modelo hidrológico proyectado con una descarga mínima instantánea promedio 7.4 m<sup>3</sup>/s, en abril y una descarga máxima instantánea promedio de 4 065 m<sup>3</sup>/s, en octubre que es coincidente con los requerimientos de caudal ambiental calculados en el río, 2) modelo hidrodinámico proyectado y las descargas de: retorno (2112.87 m<sup>3</sup>/s), formativas (900 a 1406.11 m<sup>3</sup>/s), de máxima ribera (900 a 1000 m<sup>3</sup>/s) y de inundación para diferentes años y diferentes segmentos del río (350 a 1694.6 m<sup>3</sup>/s). Estos caudales generarán las condiciones para mantener la calidad y la cantidad de los acuíferos en el área de la Cuenca (en balance con el régimen de caudales naturales actuales, los aportes de la lluvia, las actividades de irrigación, bombeo, evaporación y flujo base). Los estudios multivariados de preferencia de hábitat y simulación del Hábitat (PHABSIM) de las comunidades de peces y macroinvertebrados señalan que con estos caudales se mantendrán las condiciones para su

desarrollo, así como la conservación de las condiciones de humedad necesarias para el mantenimiento de las comunidades de flora en el cauce del río, corredor fluvial, manglar y bosque de galería a través de los picos de caudal alto y pequeñas y grandes inundaciones proyectadas.

La evaluación de impactos y medidas de mitigación para el módulo biofísico en el Río Verde (Oaxaca) señalan para el 1er. y 2do. segmentos (presa y reguladora): **Impactos.-** en los caudales naturales y biodiversidad. **Mitigación.-** Se sugiere aplicar medidas de compensación para las áreas de inundación en relación con la conservación de la biodiversidad. Generación de invernaderos rurales de especies nativas de plantas. Estudios de investigación de las comunidades de flora y fauna. Manejo de las especies nativas de peses (Fig. 2). Para el 3er segmento (PCR-Derivadora, 27.78 km.): **Impactos.-** en los Caudales Extremos Bajos (12.75 a 30 m<sup>3</sup>/s) por el incremento de los caudales medios mensuales y diarios naturales en la época de secas y un decremento en la temporada de lluvias. Se alterará la calidad del agua en los primeros metros posteriores a la cortina de la PCR (O<sub>2</sub>, temperatura y SST). 537 ejemplares de 8 especies, pertenecientes a 5 familias en la parte alta del río, y un total de 760 ejemplares de 17 familias para la parte baja señalan a la derivadora como una barrera para la migración de especies. **Mitigación.-** Conservación de los caudales ecológicos para mantener las características morfométricas y sedimentológicas del cauce. Protección de las márgenes del río contra la erosión a través de enrocamientos. Recuperación del corredor fluvial con prácticas agropecuarias adecuadas. Interacción benéfica en la parte baja en la época de secas con el agua subterránea debido al incremento del caudal con la operación de la presa. La vegetación acuática y riparia se mantendrán con los actuales usos de la tierra (agricultura y pastoreo), así como la conectividad. 4to. (Derivadora-Desembocadura): **Impactos.-** Incremento en el almacenamiento de agua en los acuíferos debido a la influencia favorable del aumento del caudal extremo bajo en la época de secas (75m<sup>3</sup>/s). Las prácticas agropecuarias ejercen el mayor impacto sobre las hidrófitas. Barrera para la migración de especies río arriba. **Mitigación.-** Caudales ecológicos para mantener las condiciones fisicoquímicas favorables para el desarrollo de las especies acuáticas animales y vegetales, así como el balance de salinidad entre el mar y el río manteniendo la comunidad de manglar en la desembocadura. Construcción de canales comunicativos en la derivadora para favorecer a las especies migratorias de Maroinvertebrados (*Macrobrachium* sp) y de peces *Agonostomus monticola*, *Awaous transandeanus*, *Centropomus* sp, *Oerochromis mossambicus*, *Dormitator latrifons*, *Astyanax aeneus*, *Sicydium multipunctatum*, *Gobiomorus maculatus*, *Poecilia sphenops*, *Pomadasys bayanus* y *Mugil curema*. Los caudales extremos bajos pueden ser recuperados utilizando la derivadora.

5to y 6to. segmentos (Desembocadura y Lagunas, ). Los caudales ecológicos mantendrán las condiciones hidrológicas de las lagunas, y el balance de agua dulce y salada entre el río y el mar. En el modulo social el 3er. 4to. 5to. y 6to segmentos: **Impactos.-** misma tendencia actual para los desechos de la agricultura y subutilización de la agricultura de riego. La agricultura de temporal y la agroindustria permanecerá como actualmente se encuentra (concesión de agua). Alteración del corredor fluvial y de la calidad del agua del río por las prácticas agropecuarias. **Mitigación.** Formación de un corredor fluvial o protección de ribera, prácticas de manejo agropecuario para el control de la contaminación, planta de tratamiento para la procesadora de limón y la implementación de la agricultura orgánica para la conservación del ambiente. Transformación al riego tecnificado.

## 5 DISCUSIÓN

El régimen de caudales obtenido a través de las cinco metodologías (Tennant Modificado, IHA, Multivariados, PHABSIM y DRIFT) para el río Verde (Oaxaca), señalaron los flujos y escenarios para cada grupo de caudales de la estación húmeda y de estiaje (años secos y lluviosos) como a continuación se señala, para: **Caudales extremos bajos.-** por un periodo de 15 días en la época de

secas (abril) de 12.75 a 30 m<sup>3</sup>/s (mínimo recomendable), para mantener un hábitat a nivel de sobrevivencia a corto plazo para la mayoría de las formas de vida acuáticas. Para que el ancho del cauce a nivel de la superficie libre del agua, la profundidad y las velocidades de la corriente no se reduzcan significativamente por mucho tiempo y para que el hábitat acuático no se degrade, como ha sido observado por Tennant (1976), Boulton (1999), Hardy (1997), Ritcher (1997) en otros ecosistemas. **Caudales bajos.-** o mínimos óptimos para la época de secas entre 32.1 y 70.15 m<sup>3</sup>/s, durante noviembre y mayo. Para mantener un hábitat adecuado para la sobrevivencia de las diversas formas de vida acuáticas porque el ancho de la superficie libre del agua, la profundidad y la velocidad serán generalmente satisfactorias. Para que las temperaturas del agua no resulten limitantes para el desarrollo de la vida acuática en la mayoría de los segmentos del río. Para que la vida de los invertebrados no se convierta en un factor limitante en la producción pesquera. Y para que se mantengan los niveles de agua, oxígeno y fotosíntesis en la columna de agua como ha sido observado en otros ecosistemas (Richter et al., 1996; Arthington et al., 2006; TNC, 2006). Los estudios de preferencia de hábitat (análisis multivariado) y simulación del hábitat (PHABSIM) para los macroinvertebrados y peces señala que las especies favorecidas con estos caudales en la parte alta del río serían *Cichlasoma trimaculatum*, *Astyanax aeneus*, *Poecilia sphenops*. **Caudales altos.-** Entre 48.15 y 260 m<sup>3</sup>/s, durante la época de lluvias (septiembre) con una variación que simule la magnitud del hidropereodo para la zona de estudio. Estos caudales propiciarán la distribución de las comunidades de plantas en las charcas, planicie de inundación y humedales. Asimismo, se liberará de desechos y se propiciará el aireamiento de los sedimentos de los canales y zonas de desove. Se incrementará el acceso a los hábitats específicos para la reproducción, crianza y refugio de depredadores. Se generarán espacios para el desove y la migración. Se generarán las condiciones para cubrir las estrategias de las historias de vida y los mecanismos de comportamiento específico para cada especie.(Tennant, 1976; FISRWG, 1998; Bunn y Arthington, 2002). Las especies favorecidas con estos caudales serían *Agonostomus monticola* y *Sicydium multipunctatum*, *Awaous transandeanus*, *Astyanax aeneus*, asociados a sitios profundos, con alta concentración de oxígeno y temperaturas más elevadas. **Pulsos de caudal altos.-** En época de lluvias de 350 a 500 m<sup>3</sup>/s, para la preservación de la ribera. Para generar los caudales que conservarán la forma física del cauce, incluyendo los rabiones y pozas, así como de los canales laterales del río. Para remover sedimentos de arena, grava y rocas. Para prevenir la invasión de vegetación de la ribera dentro del canal. Para restaurar la calidad del agua después de los periodos de caudales bajos, así como de contaminantes y basura. Y para mantener las condiciones de funcionalidad de los estuarios en forma coincidente con Gustard (1992), Brown y King (2003a,b,c), Dyson et al. (2003). **Pequeñas inundaciones.-** De 548.52 a 1000 m<sup>3</sup>/s, al menos cada 2 años durante septiembre para la conservación de la morfología del río, la conectividad con los humedales, canales laterales, zona de inundación, limpieza y balance de sales en la zona costera (Dabos y Hirji, 2003; Ritcher 2006; TNC, 2006;). **Grandes inundaciones.-** De 3,000 a 4,000 m<sup>3</sup>/s, por 3 días cada 10 años para la conservación de los ecosistemas asociados (lagunas El Espejo, Minuyua y Chacahua). Los caudales ambientales no son una descripción suficiente del estado de salud de los ríos por si solos. Los caudales ambientales deberían ser considerados en combinación con otras medidas de mitigación complementaria, tales como: evaluación de la calidad del agua en combinación con las pertinentes medidas de manejo y conservación de la cuenca (Macleod et al., 1995; Maddock, 1999; Poff et al., 2009).

La aplicación de la metodología DRIFT al Río Verde (Oaxaca), representa el uso de la técnica multicriterio como auxiliar inherente en la toma de decisiones, en los estudios multidisciplinarios y en las evaluaciones del Caudal Ecológico e Impacto Ambiental. También esta metodología toma en consideración los beneficios y costos sociales del cambio en las condiciones del río, particularmente de los usuarios (o población en riesgo) de los recursos del río (King et al, 2000; Brown y King, 2003). Sin embargo, esta metodología no provee un caudal ecológico recomendado. Más bien, genera objetivos basados científicamente en las consecuencias de los cambios de caudal para un rango de posibilidades (Poof et al., 2009). Esto permite a los directivos generar una estrategia de decisiones en el uso equilibrado del agua. La metodología DRIFT es útil para el manejo de los datos

y para la elaboración de un plan estructurado en base a la información biofísica generada (Dyson et al., 2003; TNC, 2006). Los objetivos de manejo de la metodología DIFT incluye el abatimiento de las pérdidas de hábitat naturales, la reducción de impactos generados por las fuentes puntuales y no puntuales de contaminantes, asegurar las fuentes de agua y mejorar la eficiencia del uso del agua, protegiendo los humedales, zonas de almacenamiento y la recarga de las aguas subterráneas en forma coincidente con la metodología de la evaluación ambiental, donde el proceso integrativo de identificación y evaluación del módulo biofísico, social y otros efectos relevantes del desarrollo anteriores a las evaluaciones de impacto son utilizados para la toma de decisiones (Arthington, 2006; Poff et al., 2009).

En el caso de los proyectos de desarrollo la evaluación de los caudales ambientales (ecológico) es un componente esencial en las evaluaciones de impacto. La alteración del régimen de caudales en los ríos siempre mantendrá una condición de impacto potencialmente severa. Estos impactos pueden frecuentemente ser mitigados a través del diseño de los caudales ecológicos o caudales de compensación a través de la sustitución de recursos o programas de desarrollo de las comunidades (King y Brown, 2006). Acorde con De Smedt (2010), es necesario elaborar iniciativas en relación con las herramientas de evaluación de los Caudales Ecológicos e incluir la colaboración cercana de investigadores y tomadores de decisiones para las evaluaciones de los impactos ambientales en forma satisfactoria y para la apropiada combinación de las herramientas científicas involucradas. Iniciativas que deben involucrar el dialogo entre las comunidades para la formulación de objetivos ambientales. La colaboración entre los investigadores y los tomadores de decisiones puede ser considerado de frontera al conectar la ciencia y la política en el marco del desarrollo sustentable operacional.

## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Federal de Electricidad por el patrocinio del estudio. A los Biólogos Rosa Dina Yerandi y Octavio Sandoval por la ayuda prestada durante los muestreos efectuados en el Río Verde (Oaxaca). A los investigadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua: Marco Mijangos Carro, Jorge Brena and Werner Wruck por los estudios de información geográfica digital. A Juan Francisco Gómez por el análisis hidrológico, a Joselina Espinosa and José Alfredo González por los modelos hidrodinámicos, a Miguel Ángel Mejía por los estudios hidrogeoquímicos, a Javier Sánchez y Luis Bravo por el muestreo de los datos limnológicos, a María Dolores Olvera and Marcia Yáñez por los estudios agropecuarios y de población. A Eduardo Soto del Instituto Politécnico Nacional por los muestreos y análisis de peces y macroinvertebrados. A Pedro Ramírez del Instituto de Biología de la UNAM, por la información de las comunidades de vegetación terrestre y acuática del SAR. Al Dr. Polioptro Martínez jefe del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por el apoyo logístico.

## REFERENCIAS

- [1] Dyson, M., Berckamp G. y Scanlon, J. 2003. *Flow*. Editorial UICN. UK.125 p.
- [2] Arthington, A.H., y Lloyd R. 1998. *Logan river trial of the building block methodology for assessing environmental flow requirements*. Workshop Report. Centre for Catchment and In-stream Research and Development Natural Resources: Brisbane, Australia.
- [3] Arthington, A.H., Brizga, S.O., Choy, S.C., Kennard, M.J., Mackay, S.J., McCosker, R.O., Ruffini J.L. y Zalucki, J.M. 2000. *Environmental flow Requirements of the Brisbane River Downstream of Wivenhoe Dam*. South East Queensland Water Corporation, and Centre for Catchment and In-Stream Research, Griffith University: Brisbane, Australia.
- [4] Tharme R.E. 2003. "A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers". *River Research and Applications* 19. 397 – 441.



- [5] Lytle, D.H. y Poff, N.L. 2004. "Adaptation to natural flow regime". *Trends in Ecology and Evolution* 19: 94-100.
- [6] Komar, P.D. 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Englewood Cliff, NJ: Prentice Hall: 429p.
- [7] Fisher, S. y Kummer, H. 2000. "Effects of residual flow and habitat fragmentation on distribution and movement of bullhead (*Cottus gobio* L.) in an alpine stream". *Hydrobiologia* 422/423: 305-317.
- [8] Gustard, A. 1992. "Analysis of River Regimes". (Eds). Calow and Petts. *The Rivers Handbook*, Vol. I. John Wiley & Sons.
- [9] FISRWG (Federal Interagency Stream Restoration Working Group). 1998. *Stream corridor restoration principles, processes, and practices*. USA government.
- [10] Bunn, S.E. y Arthington A.H. 2002. "Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity". *Environmental Management* 30(4): 492-507.
- [11] Gafny, S., Goren, M. y Gasith A. 2000. "Habitat condition and fish assemblage structure in a coastal Mediterranean stream (Yarqon, Israel) receiving domestic effluent". *Hydrobiologia* 422/423: 319-330.
- [12] Jungwirth, M., Muhar, S. y Schmutz, S. 2000. "Fundamentals of fish ecological integrity and their relation to the extended serial discontinuity concept". *Hydrobiologia* 422/423:85-97.
- [13] Brown, C. y King J. 2003a. "Environmental Flows: Concepts and Methods". En: *Water Resource and Environment Technical Note 1*. (Eds). Davis, R. y Hirji, R. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Washington D.C.
- [14] Bunn, S.E. y Davies, P.M. 2000. "Biological processes in running waters and their implications for the assessment of ecological integrity". *Hydrobiologia* 422/423: 61-70.
- [15] Poff, N.L., Richter, B.D., Arthington, A.H., Bunn, S., Naiman, R.J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B.P., Freeman, M.C., Henriksen, J., Jacobson, R.B., Kennen, J.G., Merritt, D.M., O'Keefe, J.H., Olden, J.D., Rogers, K., Tharme, R.E. y Warner, A. (2009). "The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards". *Freshwater Biology*.
- [16] CFE (Comisión Federal de Electricidad). 2008. *Estudios Hidrológicos, Hidro-geoquímicos, Fluviales, Hidrodinámica Lagunar-Costera, Manejo de Cuenca y Distrito de Riego, Caudal Ecológico, Calidad del Agua Superficial y Contaminación difusa de las Lagunas de Chacahua del Sistema Ambiental Regional del Proyecto de Aprovechamiento Hidráulico de Usos Múltiples, Paso de la Reina Oaxaca (Periodo de Muestreo Julio a Diciembre, 2008)*. Convenio de Colaboración CFE-IMTA:SC-CPH-13. México.
- [17] González-Villela, R. y Banderas, T. A. 2010. *Metodologías para el Cálculo de Caudales Ambientales y la Conservación del Hábitat en los ríos Regulados por Presas*. Editorial Huella, S.A de C.V. México.
- [18] García, R.E., González-Villela, R. Martínez, A. P., Athala M. J. y Soldán A.P. (1999). *Guía de Aplicación de los Métodos de Cálculo de Caudales de Reserva Ecológicos en México*. IMTA-CNA. México.
- [19] TNC (The Nature Conservancy) 2006. Ecological limits of hydrologic alteration. Integrating environmental flows with regional water management. *Sustainable Waters Program*. Boletín. 1 – 4 p.
- [20] González-Villela, R. 2007. Cálculo de caudales para la conservación del hábitat en ríos regulados por presas. En: *Bases Teóricas y Prácticas del Manejo Limnológico de las Presas Mexicanas: Hacia un Manejo Sustentable del Agua*. (Ed). Arredondo, F. J. L. Editorial. AGT.
- [21] Hardy, T.B., Williamson, S. y Waddle, T.J. 1997. *The theory and application of the physical habitat simulation system (PHABSIM)*. Midcontinental Ecological Science Center. United States Geological Survey. Biological Resources Division. Fort Collins, CO. USA.
- [22] CFE (Comisión Federal de Electricidad). 2009. *Estudios Hidrológicos, Hidro-geoquímicos, Fluviales, Hidrodinámica Lagunar-Costera, Manejo de Cuenca y Distrito de Riego, Caudal Ecológico, Calidad del Agua Superficial y Contaminación difusa de las Lagunas de Chacahua del Sistema Ambiental Regional del Proyecto de Aprovechamiento Hidráulico de Usos Múltiples, Paso de la Reina Oaxaca (Periodo de Muestreo Abril a Diciembre, 2009)* Proyecto TC-0957.3. Convenio CFE-IMTA-SC-CPH. México.
- [23] Bojórquez, Luis A. 1989. "Methodology for Prediction of Ecological Impacts Under Real Conditions in Mexico". *Environmental Management*, 13: 545-551.
- [24] Bojórquez-Tapia, L.A., Sánchez-Colón, S. y Flores, A. 2005. "Building consensus in environmental impact assessment through multicriteria modeling and sensitivity analysis". *Environmental Management* 36(3): 469-481
- [25] Cloquell-Ballester, V.A., Monterde-Díaz, R., Cloquell-Ballester, V.A. y Santamarina-Siurana, M.C. 2007. "Systematic comparative and sensitivity analyses of additive and outranking techniques for supporting impact significance assessments". *Environmental Impact Assessment Review* 27: 62-83

- [26] Tennant, D.L. 1976. *Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources*. US Fish and Wild Life Service, Montana. USA.
- [27] Boulton, A. J. 1999. "An overview of river health assessment: Philosophies, practice, problems and prognosis". *Freshwater Biology* 41: 469-479.
- [28] Richter, B.D., Baumgartner, J.V. y Braun, D.P. 1997. "How much water does a river need?" *Freshwater Biology* 37: 231-249.
- [29] Richter, B.D., Baumgarthner, J.V. Powell, J. y Braun, D.P. 1996. "A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems". *Conservation Biology*, 10(4): 1163-1174.
- [30] Arthington, A., Bunn, S., Poff, L. y Naiman, R. J. 2006. "The Challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems". *Ecological Applications*, 16(4): 1311-1318.
- [31] Brown, C. y King, J. 2003b. "Environmental Flows: Case Studies". En: *Water Resources and Environment*. (Ed). Davis, R. y Hirji, R. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Washington, D.C.
- [32] Brown, C. y King, J. 2003c. "Environmental Flows: Flood Flows". En: *Water Resources and Environment*. (Eds). Davis, R. y Hirji, R. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Washington, D.C.
- [33] Dabos, R. y Hirji, R. 2003. *Water Resources and Environment Technical Note C.1. Environmental Flows: Concept and Methods*. Series Editions. The World Bank, Washington, D.C.
- [34] Richter, B.D., Warner, A.T. Meñyer, J.L. y Lutz, K. 2006. "A collaborative and adaptive process for developing environmental flow recommendations". *River Research and applications*, 22: 297-318.
- [35] **MacLeod, W. D., Minns, C. K. Mathers A. y Mee, S. 1995. *An evaluation of biotic indices and habitat suitability scores for classifying littoral habitats. Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2334. Minister of Supply and Services Canada. 26 p.***
- [36] Maddock, I. 1999. "The importance of physical habitat assessment to evaluating river health". *Freshwater Biology* 46: 807-819.
- [37] King, J.M., Tharme, R.E. y De Villiers, M.S. 2000. *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*. Water Research Commission: Pretoria, South Africa
- [38] King, J. y Brown, C. 2006. "Environmental Flows": Striking the balance between development and resource protection. *Ecology and Society* 11(2): 26 – 47.



## MESA II

### ÉCOHIDROLOGÍA, AMBIENTES RIBEREÑOS Y ACUÁTICOS EN EL CONTEXTO DE CUENCAS



# IDENTIFICACIÓN DE ZONAS PRIORITARIAS CON FINES DE RECUPERACIÓN DE VEGETACIÓN RIPARIA EN LAS SUBCUENCAS DEL SISTEMA CUTZAMALA

Daniel Iura GONZÁLEZ<sup>a</sup>, Pablo GESUNDHEIT<sup>a</sup>, Arturo GARRIDO, Carlos ENRÍQUEZ<sup>a</sup>, Helena COTLER<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Periférico Sur 5000, México DF.  
[diura@ine.gob.mx](mailto:diura@ine.gob.mx)

## RESUMEN

Los corredores de vegetación riparia regulan procesos que resultan en servicios ecosistémicos valiosos. Entre estos se encuentran la captación e infiltración de agua y la retención de sedimentos y contaminantes que provienen de actividades humanas como la agricultura en las áreas adyacentes a las zonas de ribera. Estudios previos indican que las zonas ribereñas en el país se encuentran considerablemente degradadas. En este trabajo se propone un modelo de acumulación potencial de sedimentos y agroquímicos en una red hidrográfica, cuya finalidad es identificar zonas ribereñas prioritarias para esfuerzos de recuperación. El modelo se aplica en el área de las subcuencas del sistema Cutzamala, que provee una proporción importante del agua a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, por lo que los servicios ecosistémicos de captación e infiltración y retención de sedimentos y contaminantes en ella son de particular importancia. Esta área ha perdido una porción considerable de su cobertura vegetal original y el uso de suelo predominante actualmente es la agricultura. Se presenta una caracterización de los valles fluviales en el área de acuerdo a variables climáticas y geográficas y un listado de especies encontradas en la zona de ribera con la finalidad de brindar elementos encaminados a un esfuerzo de recuperación de los corredores riparios.

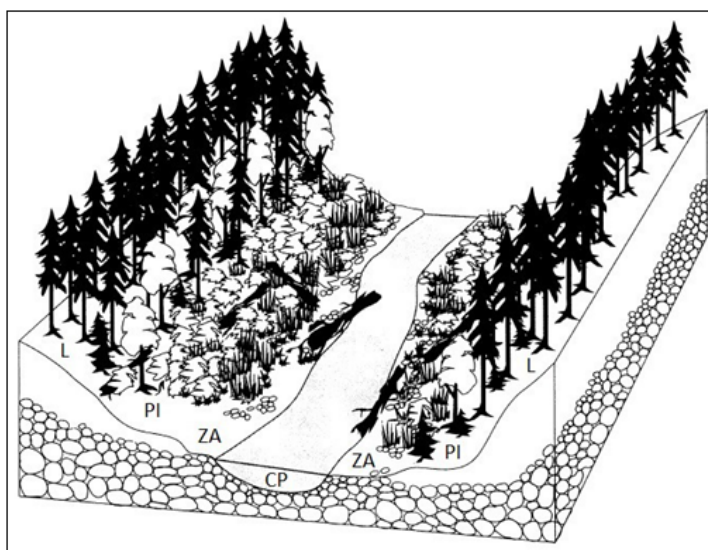
Palabras clave: vegetación riparia, servicios ambientales, sedimentos, agroquímicos, sistema Cutzamala

## 1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas riparios, definidos como el conjunto de elementos bióticos y abióticos que ocurren en el área transicional entre los sistemas acuáticos y terrestres, o de manera simple como la interfase entre estos dos (Gregory et al. 1991, Kalff 2002), son de gran importancia en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Uno de los componentes más importantes de los sistemas riparios es la vegetación, que se desarrolla a las orillas de los ríos, formando corredores a lo largo de toda la red fluvial. Estos corredores de vegetación riparia comprenden al cauce principal del río, a las planicies de inundación, y laderas adyacentes, como lo muestra la Figura 1. En estos corredores riparios, o ribereños, a pesar de ocupar una superficie comparativamente pequeña, se llevan a cabo procesos que derivan en servicios ambientales valiosos. Ejemplos de estos servicios son la retención de sedimentos y el control de la erosión, la absorción y retención de contaminantes provenientes de las zonas adyacentes, la infiltración de agua y recarga de acuíferos y el control y regulación de grandes avenidas durante las crecidas fluviales. Desde el punto de vista ecológico la vegetación riparia contribuye a la regulación de la temperatura del agua, es hábitat de diversas especies y funge como

corredor biológico e interconexión entre ecosistemas (Gregory et al. 1991, Kalff 2002). En consecuencia, las modificaciones que se hagan sobre la vegetación riparia se reflejarán de manera negativa en la provisión de servicios ecosistémicos en los valles y cuencas donde se encuentren.

Se ha observado que la regulación de los distintos procesos en los que interviene la vegetación riparia requiere de corredores o franjas de distintas anchuras. Estas anchuras son muy variables y dependen tanto de las condiciones particulares del lugar (fauna acuática y terrestre, tipo de suelo, pendiente, actividades humanas en la zona, etc.) como de la función que se quiera preservar. En términos generales, la regulación de los procesos erosivos son los que requieren franjas de menor tamaño, seguidos por los procesos que mantienen la calidad del agua, la calidad del hábitat acuático, y finalmente los procesos que mantienen la calidad del hábitat terrestre (U.S. Army Corps of Engineers 1991, Wenger 1999, Fischer y Fischenich 2000, Broadmeadow y Nisbet 2004; en Hawes y Smith 2005).



**Figura 1.** Corte transversal de un corredor ripario. CP: cauce permanente, ZA: zona activa del canal, PI: planicie de inundación, L: ladera. Modificado de Gregory (1991).

Actualmente en nuestro país, se estima que 45% de los corredores riparios se encuentran degradados debido a la alteración hidrológica de los ríos, a la urbanización, a la extracción de materiales del lecho y bancos de los ríos, así como al cambio desordenado del uso de suelo (Garrido et al. 2010). Bajo este escenario, la conservación y rehabilitación de estos sistemas son apremiantes.

Una de las áreas donde resulta de gran importancia preservar los servicios ambientales proveídos por la vegetación riparia, en especial la prevención de la erosión, retención de sedimentos y agroquímicos, y la captación, infiltración y regulación de caudales, es el sistema hidráulico Cutzamala. El sistema Cutzamala provee aproximadamente el 24% (14,700 l/s) del agua potable que se consume en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, y otra cantidad (817 l/s) a la

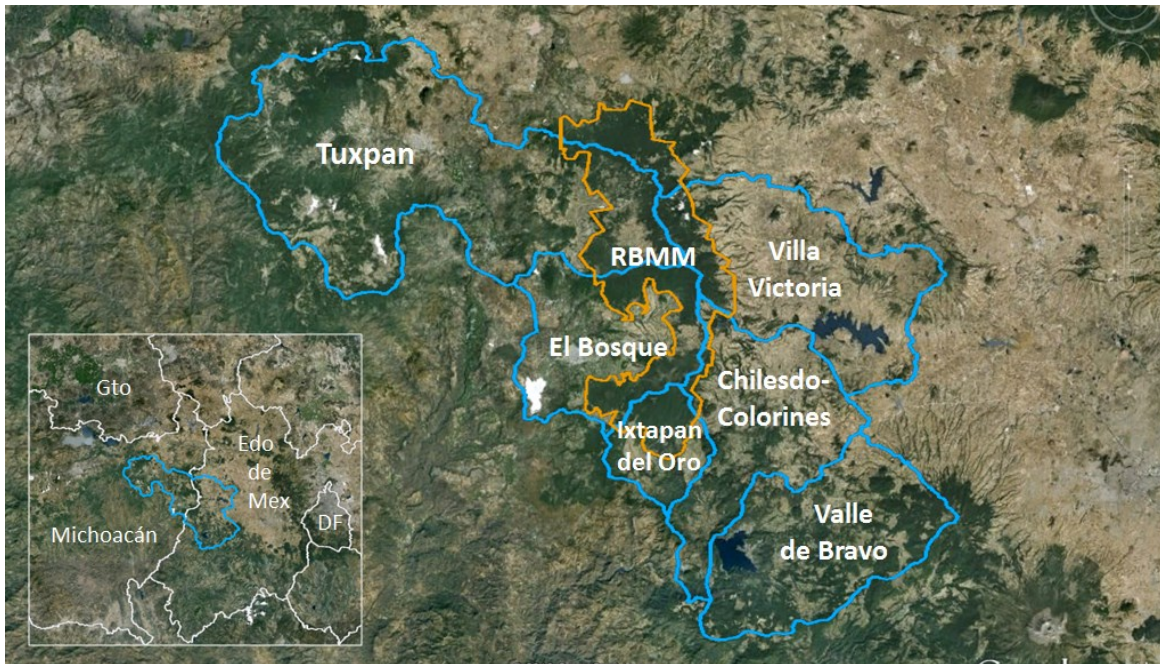
ciudad de Toluca (CONAGUA 2005), pero actualmente ha perdido parte de su capacidad proveedora de agua por varios motivos, entre los que destacan la baja precipitación de años recientes y el azolvamiento de sus presas. El sistema se compone principalmente de siete presas: Tuxpan, Villa Victoria, El Bosque, Chilesdo, Colorines, Ixtapan del Oro y Valle de Bravo, cada una de las cuales está contenida en una subcuenca que adopta el mismo nombre (a excepción de la subcuenca Chilesdo-Colorines, que contiene a estas dos). La Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca (RBMM) está contenida casi en su totalidad en el área de las subcuencas del sistema Cutzamala (Figura 2).

La cubierta vegetal en el área correspondiente a las seis subcuencas del sistema Cutzamala ha sido degradada (ver Figura 2), y actualmente está compuesta sólo en un 38% por vegetación primaria, mientras que un 47% está destinada a la agricultura (Garrido et al. 2009). Las zonas agrícolas en general se caracterizan por tener mayores tasas de erosión, así como aportes de agroquímicos. De acuerdo con Garrido et al. 2009, las subcuencas Villa Victoria y Chilesdo-Colorines son las que presentan una mayor proporción entre superficie dedicada a la agricultura y superficie donde aún existe vegetación primaria o secundaria, por lo que cualquier esfuerzo por restaurar los corredores riparios estaría especialmente indicado en estas dos.

## **2 OBJETIVOS**

Los objetivos de este estudio son: a) Delimitar y caracterizar geográficamente los valles fluviales en la zona de estudio, b) Identificar con base en un levantamiento florístico las especies potenciales para la recuperación de los corredores riparios y c) Correlacionar dichas especies con la caracterización de los valles, con la finalidad de proponer sitios prioritarios de intervención.





**Figura 2.** Subcuencas en el área del sistema Cutzamala y Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca (RBMM). A partir de Google Earth.

### 3 ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende al área de las seis subcuencas hidrográficas del sistema Cutzamala, que pertenecen a la cuenca alta del río Cutzamala (Balsas). La información cartográfica base sobre la que se trabajó abarca la totalidad del área, sin embargo la información de campo referente a la vegetación se concentra sobre todo en un área menor dentro de la RBMM. Las siguientes características corresponden al área de la RBMM pero pueden ser extrapolables con cierta seguridad al área de las subcuencas del sistema Cutzamala. El intervalo altitudinal dentro de la RBMM es de 2,400 a 3,600 msnm, y dentro del área de estudio completa, de 1,700 a 3,600 msnm. El clima es templado subhúmedo, con temperaturas medias mensuales de 8 a 22° C y precipitaciones medias de 700 a 1,250 mm. Los tipos de vegetación están determinados en buena medida por la elevación y son los siguientes: bosque de oyamel (3,600 a 2,400 msnm), bosque de pino-oyamel (3,000 a 2,400 msnm), bosque de pino (3,000 a 1,500 msnm), bosque de encino (por debajo de los 2,900 msnm) y bosque de cedro (2,600 a 2,400 msnm). Sin embargo, debido a la naturaleza del relieve, existe una variación microclimática considerable dentro del área (Plan de Manejo de la RBMM). Las ciudades de importancia en el área son Zitácuaro, Ciudad Hidalgo y Valle de Bravo.

### 4 MÉTODO

El desarrollo del presente estudio constó de las siguientes etapas:

#### 4.1 COMPLEMENTACIÓN DE LA RED HIDROGRÁFICA

Se observó la carencia de una importante cantidad de corrientes y arroyos en la cobertura geográfica disponible (carta topográfica del INEGI, 1:50 000) en el área de estudio. Por ello, el primer paso consistió en complementar la red fluvial de las subcuencas del sistema Cutzamala, empleando

herramientas de digitalización de un SIG en pantalla. Esta tarea se realizó a partir de la interpretación de curvas de nivel y modelos digitales de elevación sombreados.

## 4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS VALLES FLUVIALES

Se delimitaron los valles fluviales para cada segmento de la red hidrográfica, empleando también modelos digitales de elevación sombreados y curvas de nivel. A cada segmento de cauce corresponde un valle fluvial. A cada valle se le asignó la pendiente dominante del fondo, la cual sugiere una dinámica geomorfológica particular. Los criterios de clasificación de la dinámica fluvial con base en la pendiente dominante se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Dinámica y pendiente dominante de los valles fluviales.

Código	Dinámica fluvial	Pendiente dominante
Er	Valles con ríos rápidos y erosivos	mayor a 30°
ES	Valles con ambientes mixtos, erosivo-sedimentarios	entre 15° y 30°
SE	Valles con ambientes mixtos, sedimentario-erosivos	entre 5° y 15°
Sd	Valles con ríos lentos y sedimentarios	menor a 5°

Como paso siguiente, los valles fluviales se clasificaron con base en el clima y la vegetación asociada a ellos. Se utilizaron tres pisos bioclimáticos: Muy Frío (MF), Frío (Fr) y Templado (Tp), que corresponden a las comunidades de oyamel, pino-encino y encino, respectivamente. Se espera que esta variable influya de manera determinante a escala de paisaje, sin embargo es importante considerar la existencia de variaciones micro-climáticas para escalas de análisis más detalladas, sobre todo en valles profundos. A continuación se asignó un régimen hídrico a las corrientes. La gran mayoría de los cauces y segmentos de ríos en la zona son temporales o estacionales (incluyendo los inferidos en el paso 4.1) y por lo tanto se les agrupó en la categoría ‘intermitentes’. Finalmente, se asignó un orden de corriente (Strahler 1952) a los segmentos y valles fluviales.

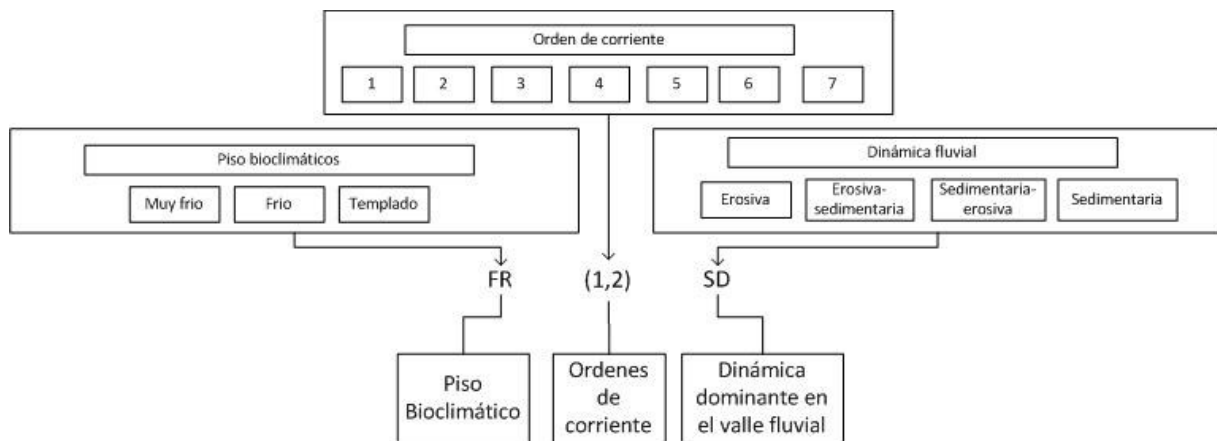
Las propiedades de régimen, orden de corriente y pendiente dominante del cauce se asocian a condiciones de mayor o menor estabilidad de los corredores riparios. En corrientes intermitentes de órdenes menores se esperan condiciones dinámicas, mientras que en ríos más caudalosos, de mayor orden y de regímenes permanentes se esperan condiciones más estables, lo que impone distintos escenarios físicos para el desarrollo de la vegetación. El proceso de clasificación de los valles se muestra en la Figura 3.

### 4.2.1 Consideraciones metodológicas de la clasificación de valles

- El método de clasificación de valles y corrientes pretende hacer una diferenciación de los mismos a escala de paisaje, que permite cubrir grandes extensiones con un esfuerzo menor que el de un recorrido de grandes tramos de ribera. Sin embargo, debe tomarse como un inventario de dichos valles bajo la premisa de que debe ser verificada en campo a través de indicadores robustos.
- A la par del análisis a esta escala, se sugiere ampliar la escala de estudio. En este sentido, existen clasificaciones validadas para un mayor nivel de detalle (Rosgen 1994).

### 4.3 ACUMULACIÓN POTENCIAL DE AGROQUÍMICOS Y SEDIMENTOS

El uso del suelo predominante en el sistema Cutzamala es el agrícola, con un 47% del área total. De este porcentaje, la agricultura de riego y de temporal ocupan el 7 y 39% del área, respectivamente (Garrido et al. 2009). En general, los agroquímicos derivados de la actividad agrícola alcanzan la red fluvial por procesos de infiltración y contribuyen al deterioro de la calidad de agua de sistemas lóticos y lénticos (incluyendo vasos de almacenamiento) por procesos de eutrofización, entre otros. En este sentido, resulta útil identificar áreas adyacentes a los ríos con alto potencial de acumulación de agroquímicos para promover ahí la rehabilitación de



**Figura 3.** Método de clasificación de valles y corrientes.

la vegetación riparia y potenciar las capacidades de filtración de la misma. El modelo aquí planteado utiliza herramientas de procesamiento de parámetros hidrológicos de un SIG, incorporando la pendiente y el uso de suelo para explorar de manera general y a nivel de paisaje la acumulación potencial de agroquímicos en valles fluviales. La secuencia seguida para este fin fue la siguiente:

1. A partir del modelo digital de elevación (basado en curvas de nivel 1:50 000) se construyó un mapa de dirección de flujo en el área de estudio. Este permite determinar la dirección de los flujos que se originan en las zonas potenciales de aporte de agroquímicos y sedimentos, en este caso de las zonas agrícolas de riego, temporal y vegetación secundaria.
2. Se construyó un mapa ponderado del uso de suelo y vegetación, en el que se asignaron a los distintos usos de suelo valores de acuerdo a su aporte potencial de agroquímicos y sedimentos. Las zonas agrícolas tuvieron los valores más altos y las categorías que no aportan agroquímicos al sistema un valor de 0. La vegetación secundaria, si bien no aporta agroquímicos al sistema, sí tiene potencial de aporte de sedimentos y se le asignó el valor mínimo. Los valores asignados a cada categoría se elevaron al cuadrado para maximizarlos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Valores asignados a los distintos usos de suelo de acuerdo a su potencial de aporte de agroquímicos y sedimentos.

Uso de suelo	Código	Importancia relative	(Importancia relativa) <sup>2</sup>
Agricultura de riego	Ar	3	9
Agricultura de temporal	At	2	4
Vegetación secundaria	Vs	1	1
Otras categorías		0	0

3. Con el mapa ponderado de uso de suelo se procedió a modelar la dispersión del flujo con un algoritmo de múltiples direcciones de acumulación. El flujo pasa de ser disperso en las zonas agrícolas a ser concentrado en los arroyos y ríos que se originan en estas zonas o las atraviesan.

4. Se determinó un valor a partir del cual el flujo comienza a concentrarse en los ríos de primer orden. En este caso fue de 20 unidades. Con este valor se hizo una selección en el área de estudio, así, solo se consideran las porciones de cauces con valor mayor o igual a 20 unidades.

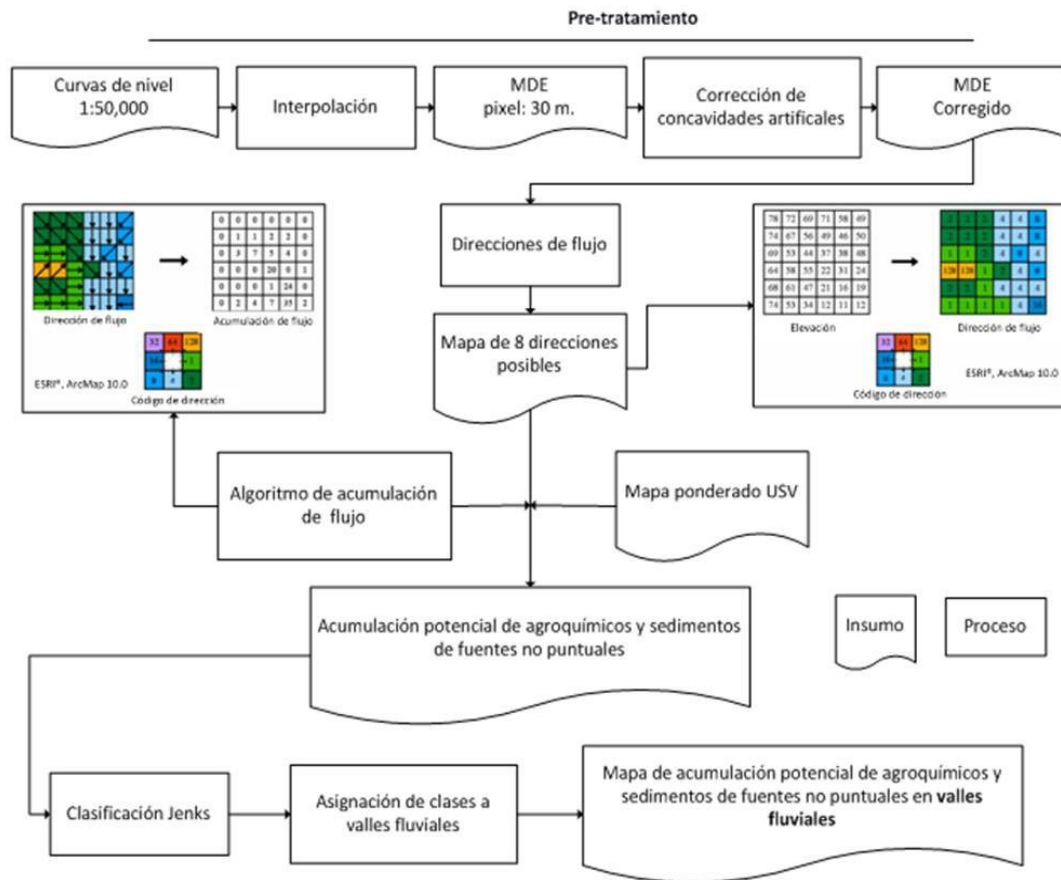
5. El mapa resultante se intersecó con los valles fluviales y se calculó la suma de los valores por cada valle. A mayor valor, mayor potencial de acumulación en la sección del río que está contenida en el valle.

6. Finalmente, para obtener un mapa clasificado de diferentes niveles de acumulación potencial de agroquímicos, los valores se clasificaron con el método de optimización de Jenks (quebres naturales).

En la Figura 4 se muestra un esquema de los principales productos intermedios y procesos en la construcción de este producto.

#### 4.3.1 Consideraciones metodológicas del modelo de acumulación potencial

- Se considera un caudal homogéneo en los distintos órdenes de corriente, por lo que la dilución de agroquímicos y sedimentos en corrientes de órdenes mayores está subvalorada.
- Sólo se considera el aporte de agroquímicos y sedimentos por uso de suelo; el potencial de retención, en cambio, no es considerado.



**Figura 4.** Esquema metodológico de la evaluación de la acumulación potencial de agroquímicos y sedimentos en ríos por fuentes no puntuales.

#### 4.4 LEVANTAMIENTO FLORÍSTICO

Para conocer la composición y el estado de la vegetación riparia en la zona de estudio, se consultó un estudio comisionado con este fin (Lot et al. 2011). El estudio comprendió un total de 34 puntos de visita, en doce de los cuales se registraron la cobertura, área basal, densidad y frecuencia de las especies. Con estos atributos se calculó el valor de importancia relativa (VIR) para cada una de las especies. El VIR es un índice de la importancia estructural de una especie dentro de una comunidad, que integra la influencia relativa de la misma en función de su contribución en densidad, dominancia y frecuencia (Curtis y McIntosh 1951). Se muestrearon 30 cuadros de 25 m<sup>2</sup>, lo que corresponde a un área total de 750 m<sup>2</sup>. El intervalo altitudinal comprendido fue de los 2,187 a los 2,685 msnm. Adicionalmente se incorporó la información florística generada por Gómez (2012) en un esfuerzo de muestreo de 8 cuadros de 50 m<sup>2</sup> que resulta en un total de 400 m<sup>2</sup>, muestreados en las orillas de un arroyo de la zona noroeste de la RBMM.

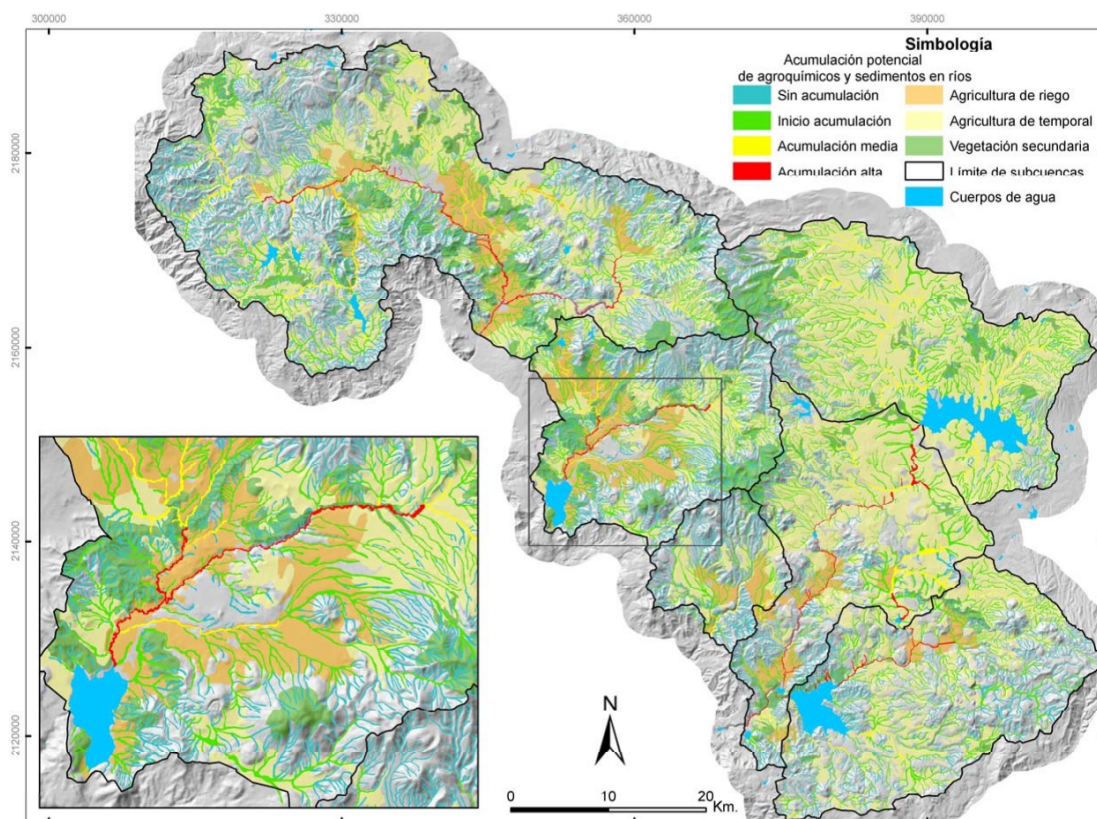
### 5 RESULTADOS

#### 5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS VALLES FLUVIALES

Se interpretaron un total de 8,548 valles fluviales. La caracterización según su orden de corriente, piso bioclimático y dinámica fluvial puede ser consultada en el Apéndice A.

## 5.2 ACUMULACIÓN POTENCIAL DE AGROQUÍMICOS Y SEDIMENTOS

La acumulación potencial de agroquímicos y sedimentos resultante del modelo se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** Mapa de acumulación potencial de agroquímicos y sedimentos en los valles fluviales de las subcuencas del sistema Cutzamala.

Los valles fluviales se clasificaron en cuatro clases de acuerdo a la acumulación potencial: ‘sin acumulación’, ‘inicio de acumulación’, ‘acumulación media’ y ‘acumulación alta’. A los valles fluviales que se encuentran arriba de cualquiera de las zonas con potencial aporte de agroquímicos y sedimentos se les asignó la categoría ‘sin acumulación’, y ocupan el 43% de la superficie total. Como era de esperarse, en la mayoría de estos se desarrollan corrientes de primer y segundo orden, principalmente intermitentes, con predominio de ambientes erosivo-sedimentarios (ES) y sedimentarios (Sd) en la zonas alta y media de las subcuencas. En la categoría ‘inicio de acumulación’ se clasificó el 25% de los valles, sin embargo es la que tiene una mayor superficie: 220 km<sup>2</sup>, o el 46% de la superficie

total. Principalmente presentan ambientes sedimentarios-erosivos (ES) y sedimentarios (Sd). El 75% de estos valles contiene corrientes de órdenes 1 y 2 y el 18% contiene corrientes de orden 3. El 53% de la superficie de los valles de esta categoría se distribuye sobre zonas de agricultura de temporal, mientras que el 11% lo hace sobre agricultura de riego. Con respecto a la categoría ‘acumulación media’, menos del 2% del total de los valles se encuentra en esta, lo que representa un área de 45 km<sup>2</sup>. El 72% del área de esta categoría está representada por valles con corrientes de 3o, 4o y 5o orden. El 48% de estos valles atraviesa zonas de agricultura de temporal mientras que 11% se distribuye sobre zonas de agricultura de riego. Finalmente, la categoría ‘acumulación alta’ está compuesta en un 80% por valles con ríos de órdenes de corriente 5 y 6, con un área total de 19 km<sup>2</sup>. El 36% de estos valles no atraviesa ninguna de las áreas de aporte potencial de agroquímicos y sedimentos, mientras que el 60% atraviesa áreas de agricultura de temporal o de riego.

### 5.3 LEVANTAMIENTO FLORÍSTICO

En el levantamiento florístico de Lot et al. (2011) se identificaron cinco especies arbóreas de tipo ripario: *Acer negundo*, *Alnus jorullensis*, *Carpinus caroliniana*, *Fraxinus uhdei* y *Salix bonplandiana*. Además se identificaron otras siete especies de árbol y cuatro arbustos asociados pero que no fueron consideradas propiamente riparias: *Buddleja* sp., *Pinus* sp., *Quercus* sp., *Arbutus tessellata*, *Crataegus mexicana*, *Sambucus nigra*, *Prunus serotina*; *Cestrum* sp., *Cornus disciflora*, *Oreopanax xalapensis* y ‘palo zopilote’. El número total de especies identificadas en este estudio fue 16. El VIR calculado para las especies arbóreas y arbustivas se reproduce en el Apéndice B.

Por otra parte, Gómez (2012) identificó un total de 23 especies en la zona de ribera, que clasificó como riparias, riparias facultativas y no riparias. Dos especies del conjunto reportado por ambos trabajos están incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010: *A. negundo mexicanum* (Pr) y *C. caroliniana* (A).

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cobertura del muestreo de vegetación riparia que se ha llevado a cabo es todavía parcial, por lo que es deseable ampliarla para incluir a todo el conjunto de posibles especies dentro del área. No obstante, para cualquier esfuerzo de recuperación de vegetación riparia, con base en la literatura (Wenger 1999 y Hawes y Smith 2005) y los hallazgos de este trabajo, se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

- Enfocar los esfuerzos en las corrientes de primer, segundo y tercer orden, incluso aquellas intermitentes, pues es en ellas en donde ocurren los mayores aportes de sedimentos y agroquímicos a las corrientes. Esta recomendación puede ser refinada utilizando la información derivada del modelo de acumulación potencial (Figura 5), que sugiere que son las corrientes en las categorías ‘inicio de acumulación’ y ‘acumulación media’ las que mayores aportes tienen. En la Tabla 3 se

muestra la matriz de prioridades para la rehabilitación de la vegetación riparia, en la que se consideran el aporte potencial de agroquímicos y sedimentos por categoría de uso de suelo y su potencial de acumulación. Se sugiere que en una estrategia de rehabilitación de zonas riparias se considere la clasificación de los valles fluviales presentada con la finalidad de ubicar a las especies utilizadas en el piso altitudinal y pendiente que de manera natural les corresponde.

- Procurar el establecimiento de una vegetación riparia que incluya árboles, arbustos y pastos, pues esta composición es la que ha demostrado ser la más eficiente en la retención de sedimentos y remoción de agroquímicos. La composición de la vegetación idealmente deberá aproximarse a la composición original, y estar compuesta exclusivamente por especies nativas.
- Procurar la continuidad de las franjas de vegetación riparia, pues los huecos en estas permiten el flujo de sedimentos y agroquímicos.

**Tabla 3.** Matriz de prioridades para rehabilitación de vegetación riparia.

		Acumulación potencial				
		Sin acumulación	Inicio de Acumulación	Acumulación Media	Acumulación alta	
		Predominio de acumulación de ladera		Predominio de acumulación del cauce		
Agr. de riego	Aporte potencial	+	0	1	1	2
Agr. temporal		0	1	2	3	
Veg. secundaria		0	2	3	3	
Otras		-	0	0	0	0

En cuanto al ancho de las franjas, existen dos aproximaciones: establecer un ancho constante a lo largo de las mismas, o un ancho variable de acuerdo a características particulares del terreno como pendiente y tipo de suelo. Ante la ausencia de datos puntuales es recomendable un ancho fijo, que podría modularse en ciertos lugares de acuerdo al servicio particular buscado y a la pendiente. De acuerdo con Wenger (1999), las franjas deberán tener un mínimo de 9 m e idealmente 30 m (en cada orilla) para la retención de sedimentos y absorción de agroquímicos, un intervalo similar para el mantenimiento del hábitat acuático, y un mínimo de 100 m para el mantenimiento del hábitat terrestre.

## APÉNDICE A. ÁREA Y FRECUENCIA DE LAS CLASES DE VALLES

Clase	Número de valles	Area (km <sup>2</sup> )	Area ocupada (%)
Fr(1,2)Sd	1220	83.3	12.9
Fr(1,2)SE	647	77.6	12
TP(1,2)Sd	1100	70.6	10.9
Fr(1,2)ES	1139	56.8	8.8
TP(1,2)SE	599	55.8	8.6
TP(1,2)ES	1172	50.7	7.9
MF(1,2)ES	783	38.3	5.9

Sólo se muestran las clases con una cobertura mayor al 5% del área total



## APÉNDICE B. VIR DE LAS ESPECIES ARBÓREAS Y ARBUSTIVAS

Especie	VIR	Especie	VIR
<i>Alnus jorullensis*</i>	231.4	<i>Fraxinus uhdei*</i>	7.3
<i>Quercus sp.</i>	28.8	<i>Carpinus caroliniana*</i>	7.3
<i>Pinus sp.</i>	18.2	<i>Sambucus nigra</i>	5.1
<i>Buddleia sp.</i>	13.1	<i>Prunus serotina</i>	4.2
<i>Salix bonplandiana*</i>	8.9	<i>Crataegus mexicana</i>	4.1
<i>Acer negundo*</i>	8.8	<i>Arbutus tesselata</i>	4.1

\*especies riparias

## APÉNDICE B Cont.

Especie	VIR
<i>Oreopanax xalapensis</i>	28.4
<i>Cornus disciflora</i>	8.1
<i>Cestrum sp.</i>	7.4
palo zopilote	4

## REFERENCIAS

- CONAGUA. 2005. Sistema Cutzamala. Agua para millones de mexicanos. CONAGUA. 48 p.
- CONANP. 2001. Plan de Manejo de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca. 117 p.
- Curtis, J.T., McIntosh, R.P. 1951. An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. *Ecology* 32(3): 476-496.
- Garrido, A., Enríquez, C. Cotler, H. 2009. Priorización y recomendaciones de acciones de conservación en las subcuencas del sistema Cutzamala. DMICH, INE. 19 p.
- Garrido, A., Cuevas, M.L., Cotler, H., González, D.I., Tharme, R. 2010. Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación Ambiental* 2(1): 25-46.
- Gómez, H. 2012. Evaluación del ecosistema ripario en ríos de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca (tesis de maestría, en prep.).
- Gregory, S.V., Swanson, F.J., McKee, W.A., Cummins, K.W. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience* 41 (8) 540-551.
- Hawes, E. y Smith, M. 2005. Riparian Buffer Zones: Functions and Recommended Widths. Yale School of Forestry and Environmental Studies. Eightmile River Wild and Scenic Study Committee. Disponible en: [eightmileriver.org](http://eightmileriver.org).
- Kalff, J. 2002. *Limnology*. Prentice-Hall, Inc. Nueva Jersey, EUA. 592 p.
- Lot, A., Llamas, I., Ramírez, P., Argüello, J.A. 2011. Restauración de ecosistemas riparios en las subcuencas del sistema Cutzamala. 39 p.
- Lugo, J. 2011. Diccionario geomorfológico. Geografía para el Siglo XXI. Serie: Textos Universitarios. UNAM. México. 479 p.
- Rosgen, D.L. 1994. A classification of natural rivers. *Catena* 22: 169-199.
- Strahler, A. 1952. Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society of America Bulletin*. 63. 923-938.
- Wenger, S. 1999. A review of the scientific literature on riparian buffer width, extent and vegetation. Office of Public Service & Outreach, Institute of Ecology, University of Georgia. EUA. 59p.

# COMPARACION HIDROGRAFICA, HIDROLÓGICA Y FISIOGRAFICA ENTRE LAS CUENCAS DEL SISTEMA GRIJALVA-USUMACINTA

Gloria ESPÍRITU TLATEMPA<sup>a</sup> y Rocío RODILES-HERNÁNDEZ<sup>B</sup>

<sup>a</sup> Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas [gloria.espiritu.t@gmail.com](mailto:gloria.espiritu.t@gmail.com),

<sup>b</sup> El Colegio de la Frontera Sur, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Col. María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, c.p. 29290 México.

## RESUMEN

La finalidad del trabajo fue estimar variables que determinan el grado de impacto debido a las características hidrológicas y el uso de suelo en 84 subcuencas en el sistema hidrográfico del Grijalva y Usumacinta. En este documento, se utilizan diversas técnicas convencionales para analizar variables hidrográficas tales como: área, pendiente, número y longitud de ríos, densidades, altitud, longitud, forma. Y variables hidrológicas como: *precipitación*, volumen tiempo de concentración. Con estas variables se obtuvo el potencial de escurrimiento en cada una de las subcuencas y se identificaron las más críticas en relación a la cobertura vegetal y erosión del suelo, así como a los peligros de azolvamientos e inundaciones. Los valores se asignaron de acuerdo a la bases de información de INEGI y SEPLAFIN. Los resultados indican valores críticos de características hidrográficas, hidrológicas y zonas de riesgo que se encuentran de manera recurrente en 26 subcuencas (31%): 9 de las cuales se encuentran en la Cuenca del río Lacantun; 7 en la cuenca de Grijalva-Villahermosa; 5 en la cuenca Grijalva-La Concordia; 2 en cada una de las cuencas del río Usumacinta y río Grijalva- Tuxtla y una en la Cuenca del río Chixoy y en la cuenca Laguna de Términos.

**Palabras clave:** caracterización de cuencas, zonas de riesgo, Chiapas, Tabasco, Campeche.

## 1 INTRODUCCION

Debido a los recurrentes sucesos sobre procesos erosivos fluviales y eventos de lluvias intensas en periodos cortos y sequías prolongadas en esta zona tropical; se hace prioritario conocer cuáles son las características físico hidrológicas que determinan las condiciones de impacto actual y potencial de las cuencas aportadoras a los dos ríos más caudalosos de mesoamerica tropical. La evaluación comparativa, se hace necesaria para determinar el indicador de mayor degradación o potencial de degradación natural, manifestado a su vez por peligros tanto hidrograficos como de erosion e inundación debido a la presencia de altas precipitaciones y considerables modificaciones antropogenicas. Dicha comparación proporciona una base de informacion a escala regional.

## **2 AREA DE ESTUDIO**

El sistema hidrográfico del Grijalva y Usumacinta es el mas grande de Mesoamerica, se origina en las partes altas de Guatemala y se extiende a traves de una amplia superficie del sureste mexicano: en Chiapas (60%), Tabasco (20%) y Campeche(20%). El delta de estos rios forman el humedal dulceacuícola más importante de mesoamérica que fue considerablemente afectado por la construccion de tres grandes embalses en el cauce del rio Grijalva.

## **3 METODOS**

Con las fuentes digitales de hidrografia de INEGI (2000) y CNA (2003) y mediante el uso de técnicas de Horton y Hupp (1991), así como, técnicas de álgebra de mapas en SIG y Arc View 3.2; se estimaron los siguientes parametros: 1) Número y forma de cuencas 2) superficie de cuencas y subcuencas, 3) número y longitud de corrientes, 4) densidad hidrográfica y de drenaje y 5) longitud de los principales ríos,

También se analizaron para cada subcuenca las siguientes variables hidrológicas: tiempo de concentración, precipitación media y volumen medio en cada subcuenca, como variables prioritarias. Posteriormente se asociaron esos resultados con las condiciones físicas e hidrográficas de las cuencas, principalmente rangos altitudinales, con longitud de río, densidades hidrográficas, de drenaje, pendientes y su ubicación.

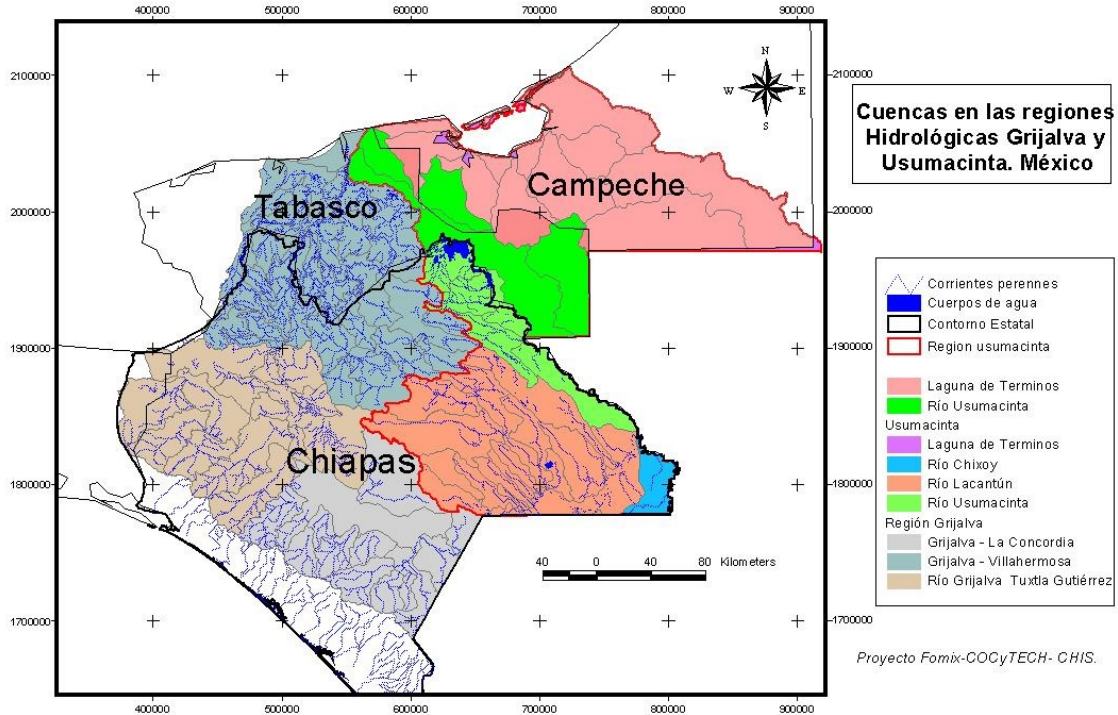
La ubicación geográfica de cada cuenca con relación al desarrollo de fenómenos erosivos, es un factor indispensable para el conocimiento de impactos; con el uso de fuentes oficialmente usadas de: tipo de suelo, erosión de suelo y peligros, con tipología y categorías establecidas por INEGI (1983), Chapingo (1995) y SEPLAFIN (2005), se determinó la lógica y el sentido progresivo del proceso erosivo lo largo de los dos sistemas hidrográficos, mediante sus valores hidrográficos o hidrológicos altos, o en su caso, bajos.

Por otra parte, se consideró que la cobertura vegetal es un factor de no deterioro de las subcuencas, por lo que fue también otra variable de referencia para evidenciar cuencas impactadas por cambios de uso de suelo, en este caso, sólo se consideraron grupos de vegetación arbórea, manglar nativo entre los indicadores de conservación, y no así los pastos inducidos y los centros de población.

## **4 RESULTADOS**

Se determinó que los sistemas hidrográficos de los ríos Grijalva y Usumacinta están conformados por siete cuencas y 84 subcuencas compartidas entre los Estados de Chiapas, Tabasco y Campeche: En general, las cuencas tienden a ser más alargadas y de menor superficie en las partes este y norte de

Chiapas; mientras que en las partes bajas de Campeche, Tabasco y zona centro de Chiapas, son más rectangulares y de mayor tamaño.



- A) Región Grijalva: 1) Grijalva-La Concordia, 2) Grijalva-Tuxtla Gutiérrez y 3) Grijalva-Villahermosa, esta última se comparten 26 subcuencas entre Chiapas y Tabasco. En total son 53 subcuencas en la Región.
- B) Región Usumacinta : 4) Río Chixoy, 5) Río Lacantún, 6) Laguna de Términos y 7) Usumacinta con 31 subcuencas en la Región, compartiendo 6 subcuencas de la cuenca Usumacinta con Tabasco, y Laguna de Términos, con 6 subcuencas compartidas entre Campeche y Tabasco.

### 1) Características Físicas de las Cuencas

A nivel de regiones hidrográficas en México la superficie del río Grijalva es ligeramente mayor a la del río Usumacinta.

Todas las cuencas presentan rangos altitudinales considerables, lo que implica un drenaje superficial permanente en estos dos grandes ríos. Se considera que a pesar de que los rangos altitudinales son relativamente homogéneos entre cuencas, a nivel de subcuencas son muy variables tanto en altitud (2350-100 msnm) como en superficie ( 500 Km<sup>2</sup> y 3 km<sup>2</sup>).

Tabla 1. Superficie de cuencas

REGION	CUENCA	AREA (KM <sup>2</sup> )	RANGO ALTITUD
RIO GRIJALVA	GRIJALVA -TUXTLA GUTIÉRREZ	16.743	2800
	GRIJALVA-VILLAHERMOSA	22.270	2850
	GRIJALVA-LA CONCORDIA	13.335	3000
		<b>52.348</b>	
RIO USUMACINTA	USUMACINTA	13.693	2600
	LACANTUN	14.341	2600
	RIO CHIXOY	1.124	2600
	LAGUNA DE TERMINOS	20.729	2600
		<b>49.887</b>	

En la Región del Grijalva, las subcuencas Grijalva, Tulijá, Carrizal, Tzimbac, Santo Domingo, San Miguel y Presa la Angostura, son cuencas muy similares en forma semi alargada, siendo más alargada la Presa Nezahualcóyotl ya que sus valores de coeficiente (Kc) son mayores a 2, con pendientes de bajas a medias.

La subcuenca del río Usumacinta tiene una forma muy alargada y presenta un coeficiente(Kc) máximo de 3.09. Y le sigue en orden de importancia las subcuencas del río Lacantún, Jataté y Lacanjá con con pendiente baja a media y valores de Kc de 2. Cabe destacar que la subcuenca del río Lacantún es la única donde la diferencia de altitudes supera a la longitud de cuenca, lo que representa una mayor pendiente para el río.

## 2. Características hidrográficas

La densidad de drenaje, referida a la suma de longitud de ríos con relación al área de la subcuencas, es mayor en la cuenca Grijalva-Villahermosa en un 47% con valores promedio de 0.520 km/km<sup>2</sup>. Chilapa presenta la mayor longitud de escurrimientos perennes y le sigue en orden de importancia Pichucalco.

Algunas de las subcuencas con valores máximos de densidad de drenaje e hidrográfica son Zayula y Tzimbac. Por otra parte, las subcuencas que presentan un gran número de corrientes principales son: Presa Chicoasén y Suchiapa. Y las subcuencas (51 %) con mayores cantidades de corrientes superficiales se ubican en la Cuenca Grijalva- Tuxtla.

La Cuenca del Lacantún presenta la mayor densidad hidrográficay de drenaje en la región del Usumacinta, y se manifiestan en varias de sus subcuencas, teniendo un máximo el río Chajul, seguido por el de Ixcán, las subcuencas que presentan mayor número de corrientes se encuentran en la cuenca del río el Usumacinta y el Azul.

### **3. Características Hidrológicas**

De la cantidad en volumen de lluvia que cae sobre el sistema Grijalva, la parte norte Grijalva-Villahermosa, recibe el 47%, principalmente en Pichucalco, De la Sierra, El Platanar y Tulijá.

En la región del Usumacinta, las mayores precipitaciones se concentran en la cuenca del Río Lacantún. Aunque en las cuencas Usumacinta y Laguna de Términos se registran volúmenes de escurrimiento muy altos.

Los tiempos de concentración son importantes ya que determinan el grado de respuesta de estabilización de las cuencas. En la región del Grijalva las subcuencas Pichucalco, Zayula y Zacualpa tienen un tiempo de concentración corto, en el primer caso con una precipitación alta de hasta 3,400 mm la respuesta de estabilización o desalojo puede darse en 8 horas.

Para la cuenca del río Lacantún, los tiempos de concentración son variables, pero en general son más cortos, destacan las subcuencas del río Euseba y el Caliente con un tiempo de respuesta de menos de 5 hr con más de 2,000 mm de precipitación.

### **4. Peligros naturales**

En la región del Usumacinta se presentan inundaciones altas en la mayoría de su superficie. Destacan las subcuencas Lacantún, Lacanjá, Laguna Miramar y Azul; así como, todas las subcuencas de Laguna de Términos. Prácticamente todas las cuencas de la Región del Usumacinta presentan problemas de inundación en eventos hidrometeorológicos extraordinarios (SEPLAFIN, 2005).

En la región del Grijalva, los mayores problemas de inundación se presentan en la cuenca Grijalva-La Concordia; y en la cuenca Grijalva –Villahermosa.

Con respecto al fenómeno erosivo para el Estado de Chiapas (SEPLAFIN, 2005 Y CHAPINGO, 200). En el caso de la región del Grijalva, las subcuencas de mayor erosión Yayahuita, San Pedro, Puxcatán y Tulijá. En la región del Usumacinta las subcuencas con mayor erosión son: río Tzaconejá, río Seco, Jataté, Lacanja, Comitán, San Pedro y Usumacinta, Candelaria, Azul, Chacamax y Euseba.

### **5. Características de vegetación**

Para la región del Río Grijalva, la presencia de bosques y selvas grande en las subcuencas de Río Hondo y Río Chicoasén con 68 y 67% respectivamente; además de Yayahuita (81%), Presa la Concordia y Aguazarca (70%), Zacualpa (63%) y de los Plátanos (61%). En el caso de la Región del Usumacinta las subcuencas de Candelaria y Palizada tienen entre 75-63% de bosques y selvas.

## 5 CONCLUSIONES

Los valores extremos de características hidrográficas, hidrológicas y peligros de inundación y erosión se presentan en las siguientes cuencas:

1. Cuenca del río Lacantún: Lacantún, Seco, Yayahuita, Jataté, Tzaconejá, Laguna Miramar, Chajul, Ixcán y Azul
2. Cuenca del Río Usumacinta: Río Usumacinta y Río San Pedro
3. Cuenca Chixoy: Río Chixoy
4. Cuenca Laguna de Términos: Platanar
5. Cuenca Grijalva- Villahermosa: Presa Peñitas, Tulijá, Pichucalco, De la Sierra, Grijalva, De los Plátanos, Zayula
6. Cuenca Grijalva-La Concordia: Zacualpa, Yayahuita, San Pedro, Presa la Angostura y Selegua
7. Cuenca Grijalva- Tuxtla: Presa Nezahualcoyotl y Río Hondo

De estas subcuencas, las que aún conservan vegetación endémica como manglar y popal son: Grijalva, Presas la Angostura y Nezahualcáyotl, y Selegua. Lacantún, Tzaconejá, Caliente y Jataté. Las subcuencas presa Angostura y presa Nezahualcáyotl, han sufrido fuertes inundaciones ya que son muy propensas a ello, también con grandes volúmenes de escurrimiento. La subcuenca del Río Lacantún ha sufrido fuertes problemas de inundación ya que transmite un gran volumen de escurrimiento anual. Se asume que la sedimentación es progresiva, aunque los valores de erosión e inundación puntual deberán evaluarse en un trabajo más detallado a nivel de microcuenca.

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto FOMIX-CHIAPAS-CONACYT. Uso de peces como indicadores de la Salud del Ecosistema Acuático del Sistema Hidrológico Grijalva y Usumacinta. A Helena Cotler por su valiosa ayuda e información proporcionada.

## REFERENCIAS

- Aparicio, M. F., 2009. "Fundamentos de Hidrología de superficie". Editorial Limusa. Pp. 113-208. ISBN: 978-968-18-3014-4.
- Custodio e Llamas (1989). Hidrología subterránea. Editorial Omega. España.
- Horton, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative geomorphology. Geol. Soc. Am. Bull. 56. 275-370. 1945
- Lugo- Hubp, J.I., 1991, Elementos de geomorfología aplicada. Métodos cartográficos: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 109 p
- Sraghler, A. N. (1952), Análisis hipsométrico (Área de altitud) de la topografía de erosión, Boletín, Sociedad Geológica de América 63, 1117-1142
- Bases Cartográficas digitales de: INEGI, 00,
- Bases Cartográficas digitales de CNA, 2003.
- Bases Cartográficas digitales de ECOSUR, 2004
- Bases Cartográficas digitales de SEPLAFIN, 2006
- Bases Cartográficas digitales de INE, 2006

# MODIFICACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES EN EL CAUCE DEL RÍO USUMACINTA, CHIAPAS

Gloria ESPÍRITU TLATEMPA<sup>A</sup>, Miriam SORIA-BARRETO<sup>b</sup> y Rocío RODILES-HERNÁNDEZ<sup>B</sup>

<sup>a</sup> Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas [gloria.espiritu.t@gmail.com](mailto:gloria.espiritu.t@gmail.com).

<sup>b</sup> El Colegio de la Frontera Sur, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Col. María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, c.p. 29290 México.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo la finalidad de conocer los efectos temporales y espaciales de la precipitación en el cauce del río Usumacinta. Se compilaron los datos de precipitación disponibles para la cuenca. Se complementó la información con el uso de imágenes satelitales SPOT. Se elaboraron mapas en diferentes años (2004a 2011), donde fue analizado el efecto del cambio climático por medio de la estimación de las zonas de azolve a lo largo del curso del río. La zona paralela al río Usumacinta menor de 1 km, tuvo un incremento en la sedimentación desde Marqués de Comillas en la Selva Lacandona hasta los humedales de Chiapas, en el límite con Tabasco; debido a la presencia de lluvias y la continua acumulación de sedimentos en zonas desprovistas de vegetación. Existe gran cantidad de azolve, en la cuenca del Río Chixoy, en su parte alta del Usumacinta; que se incrementa en la parte baja del río. En la parte media dependiendo de la temporada, aparecen azolves con superficies pequeñas. La mayor cantidad de azolves (468.1 km<sup>2</sup>) se registró en 2005, que se asocia con la mayor precipitación en la zona e indica la aceleración de la dinámica erosiva reciente, incrementada por lluvias extraordinarias que en un solo mes representaron la media anual de los últimos cinco años. Sin embargo, la superficie de azolve no se acumuló en el tiempo, y presentó variaciones dependiendo de la cantidad de precipitación, con lo cual se observa que el Río Usumacinta puede estabilizarse temporalmente.

Palabras clave: Azolve, Erosión fluvial, Río Lacantún, Río Chixoy, humedales.

## 1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno natural presente a lo largo de la historia geológica de la Tierra. Sin embargo, actualmente existen transformaciones más aceleradas y con mayor magnitud del clima como resultado de las actividades humanas. Estos cambios climáticos se reflejan en la presencia de sequías más intensas, el incremento en el nivel del mar, mayor frecuencia e intensidad de lluvias y tormentas, así como la pérdida de biodiversidad (IPCC, 2007).

En los sistemas acuáticos se manifiestan las modificaciones causadas por el hombre y también aquellas producidas por el cambio climático, que pueden observarse a través de las alteraciones del flujo y volumen del agua, como resultado de las frecuencias de sequías e inundaciones, así como analizando la dinámica erosiva fluvial (Palmer *et al.*, 2009).

En este sentido, el objetivo de este trabajo es evaluar los efectos del cambio climático en el río Usumacinta, que es uno de los más caudalosos de México. Mediante la detección de cambios



espaciales del cauce del Río Usumacinta y su área de influencia más cercana, analizando el comportamiento de lluvias en un periodo de cinco años para conocer las tendencias de azolve.

## **2 ÁREA DE ESTUDIO**

El Río Usumacinta corre a lo largo del territorio chiapaneco, en zonas con modificaciones ambientales y presencia de poblados; así como en áreas naturales protegidas. Está conformado por cuatro subcuencas: Laguna de Términos, Río Chixoy, Río Lacantún y Usumacinta. Para el análisis de este trabajo, se consideraron las cuencas Lacantún (14.3 km<sup>2</sup>), Río Usumacinta (7km<sup>2</sup>) y Río Chixoy (1.12 km<sup>2</sup>) como cuencas aportadoras tanto de agua superficial y de azolves al Río Usumacinta en el interior del estado de Chiapas.

A pesar que algunas subcuencas se comparten con Guatemala, donde reciben importantes recarga y considerables cantidades de azolve. En el presente trabajo sólo se estiman las relaciones azolves-lluvias según la percepción remota y registros pluviométricos de las estaciones climáticas del estado de Chiapas para obtener efectos locales.

## **3 MÉTODOS**

Se analizó el comportamiento anual y mensual de las isoyetas para correlacionarlo con la delimitación de las zonas azolvadas en imágenes de satélite spot pancromáticas resolución 10m.

Para la realización de los mapas de isoyetas medias anuales y mensuales, se utilizaron las medias estadísticas de los registros mensuales anuales de lluvia de 24 estaciones climáticas con datos hasta el 2005 obtenidas de la CONAGUA (2011). Se analizó la precipitación de 15 estaciones que tenían datos hasta el 2011 que influyen en el Río Usumacinta. Diecisiete estaciones tuvieron registros con posibilidad de procesamiento homogéneo para el periodo 2004 a 2012, por ello fueron utilizadas para el análisis de imágenes satelitales. Además, existen diez estaciones automatizadas CONAGUA (2012) que cuentan con información del año 2011, cinco de estas fueron incluidas y las demás pertenecen a Tabasco. Se emplearon cuatro estaciones de Chiapas de manera auxiliar.

Se utilizaron 11 imágenes spot una resolución de 10 m que corresponden de julio a diciembre para los años: 2004, 2005, 2007, 2010, 2011 y 2012 (SEMAR, 2012). El trazado de isoyetas se realizó a partir de datos de lluvia en los periodos de los meses más lluviosos y se hacen corresponder con las zonas de azolve de las imágenes de los mismos años.

Se determinó los sitios con mayor azolve en diversos tramos del Río Usumacinta, considerando la variación en la velocidad, mayor en el sur y menor en el norte del estado. Para el análisis meteorológico se consideraron los meses finales del periodo de lluvias (octubre) y los primeros meses de sequía (enero y febrero), para realizar la comparación entre las dos etapas.

Las imágenes procesadas son de las bandas 1 y 2 principalmente, reconociendo con efecto termal el material lítico en la banda 3. Se consideró al material expuesto que ha sido delimitado con alta radiancia, en este caso areno-gravoso (75%) y se calculó su superficie para los diversos años de las imágenes.

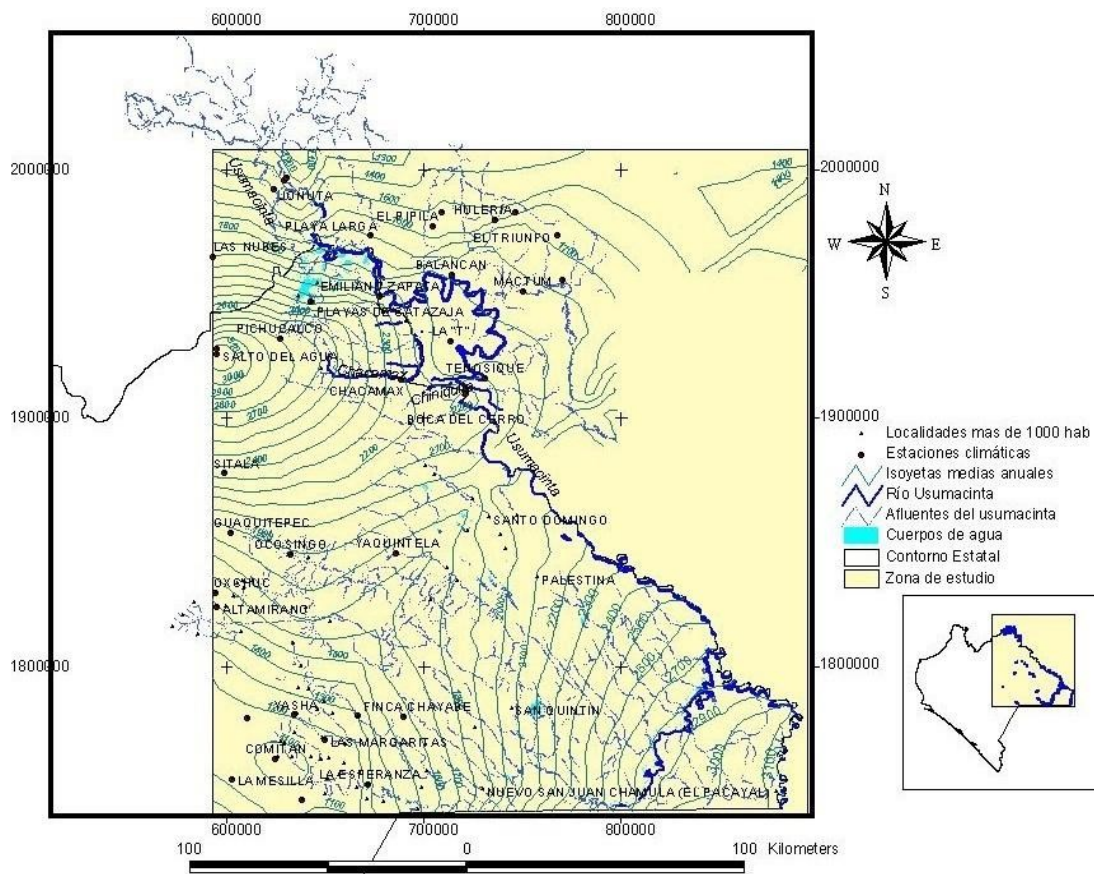
Las imágenes se clasificaron en tres categorías de interés para este tema: agua limpia y profunda, agua somera y material de azolve. Para ello, se utilizó un filtro 3x3 sobre imágenes spot.

Se realizaron cortes de grid y layouts generados en el programa ARC GIS 10 para dos áreas de influencia en donde se manifiesta el azolve: 20 y 1km desde el cauce del Río Usumacinta. Clasificando en tres grupos: azolve, cuerpos de agua profundos y cuerpos de agua someros.

En las imágenes spot se delimitaron los azolves los cuales son materiales arenosos que forman montículos, playones o playas en las zonas de curvatura de los meandros o a las orillas del cauce. Estos se observaron después de las lluvias acaecidas de los meses de junio a octubre; el material es transportado desde las formas del relieve ubicadas al occidente, como cimas y cadenas de montañas que delimitan cañadas y cuentan con ríos perennes, muchos de los cuales son tributarios del Usumacinta. También fue posible observar zonas con poca profundidad de agua, lo que se ha denominado agua somera, en donde contienen material areno-gravoso que ha quedado en el fondo del río, limitando la columna de agua a pocos metros de profundidad (menos de 2 m).

#### **4 RESULTADOS**

El mapa de lluvias, en general muestrados zonas con mayor cantidad de lluvia: una ubicada en la parte norte del estado en Pichucalco con lluvias hasta de 2,900 mm y en la zona sureste en Marqués de Comillas con 3,000 mm; las precipitaciones disminuyen hacia el suroeste y hacia el noreste en Guatemala. El intervalo de precipitaciones varía de 1,200 a 3,000mm, las mayores concentraciones coinciden con las temperaturas máximas de 36 a 42°C, localizadas en la parte norte del estado, Playas de Catazajá (zona lagunar) (Fig. 1).



**Figura 1.** Isoyetas medias anuales en mm (1963-2000) en la zona del Río Usumacinta. Escala 1:700,000

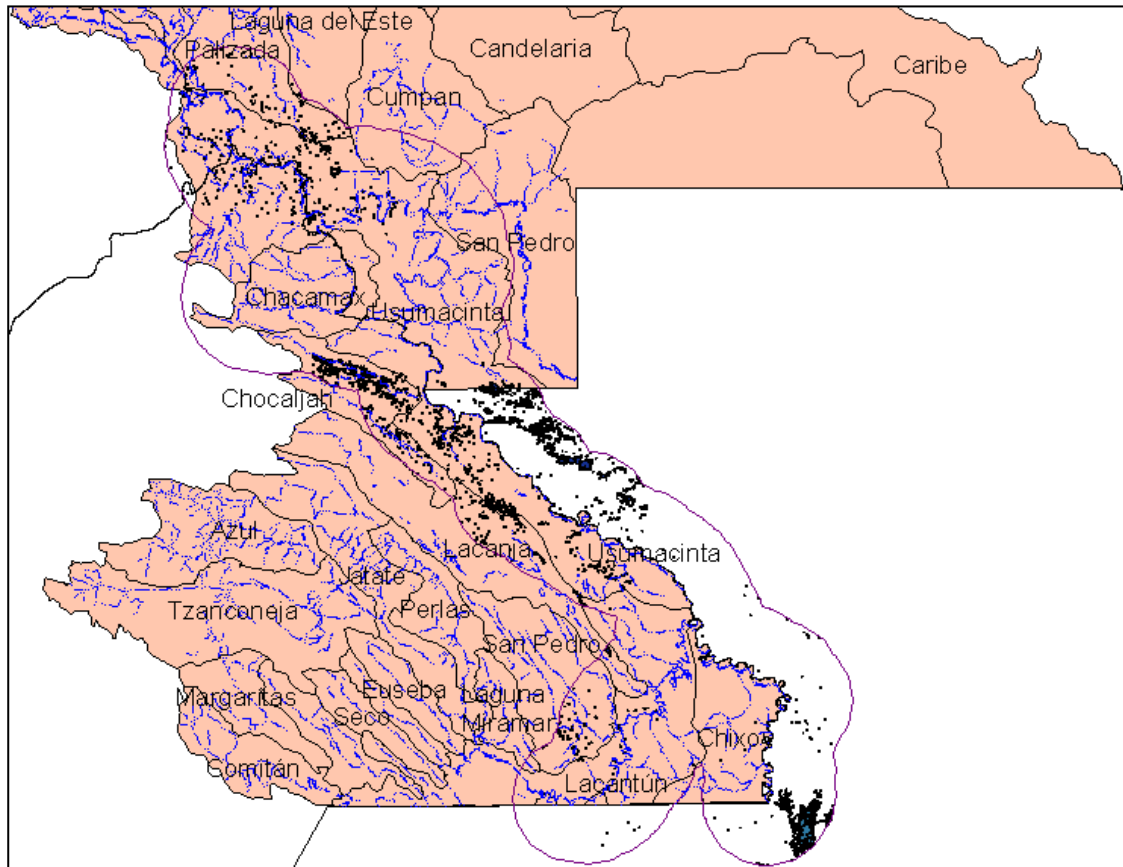
El análisis de la lluvia en la región del Usumacinta en los seis años (2005-2010), indica que en 2005 y 2010 hubo más precipitación. En la parte oeste de Chiapas, donde se localizan las estaciones La Mesilla, Margaritas y La Soledad mostraron un incremento de en la cantidad de precipitación de 70 a 118 mm desde 2005 al 2010 con respecto a su media anual de 47 años. Al norte, la estación Cascajal también registró un incremento de 73 mm, siguiéndole Flores Magón con 48 mm y Amatenango con 40 mm.

Sin embargo, para el periodo de más de 45 años para las estaciones analizadas, se observa que las mayores precipitaciones se han registrado en las estaciones Chayabé al oeste y Triunfo al Noreste en años variados.

Respecto a los azolves, la parte baja de la región Usumacinta (norte de Chiapas), posee la mayor cantidad de azolve o material arenoso, principalmente los tramos del río que colindan con Tabasco, en donde el río forma ambientes lagunares o cuerpos lénticos. Así mismo, se observa azolves hacia la zona media del Río Usumacinta (Fig 2), en donde existen áreas desprovistas de vegetación, lo que promueve el incremento de erosión.

Considerando la información climática y la estimación de azolves, se observa que la zona al oeste de la cuenca del Río Usumacinta tiene centros focales de lluvia intensa (principalmente en la mayor altitud); sin embargo, sus afluentes no aportan gran cantidad de azolves debido a la presencia

de mayores áreas conservadas. En cambio, los tributarios que nacen en zonas boscosas pero con considerables modificaciones en el uso de suelo, tales como pastizales inducidos o terrenos despejados, así como con elevadas pendientes; mantienen expuestos material lítico y edáfico, susceptibles a ser transportados durante lluvias por los arroyos; lo que provoca, azolvamientos en diferentes tramos de los ríos Lacantún y Usumacinta, aguas abajo.



**Figura 2.** Superficies de azolve en el área de influencia de 20 km del Río Usumacinta.

Las superficies con mayor azolve se manifestaron en octubre de 2005, después de la temporada de lluvias y en enero de 2011 como resultado de las lluvias de diciembre 2010, registrando valores de 468 y 192 km<sup>2</sup>, respectivamente. El área de inundación en octubre de 2005 fue de 190.5 km<sup>2</sup> con influencia del cauce de 20km y en 2011 fue menor, de 22.1 km<sup>2</sup> (Tabla 1).

Los principales cambios en un mismo año se observan en 2004, donde el azolve se incrementó cinco veces desde enero a octubre. En 2005, el incremento fue mayor, la superficie de azolve fue 68 veces mayor de enero a octubre. En cambio, en 2011 disminuyó en la misma proporción (68 veces) de enero a marzo. Con lo cual se puede observar que el Río Usumacinta es un sistema que puede estabilizarse con las variaciones de precipitación.

La cantidad de azolve registrada en octubre 2005, es muy alta al respecto de los demás años analizados, ésta se relaciona con la cantidad de lluvia acumulada, con el incremento del agua somera y profunda. Las lluvias acumuladas en 2010 también desarrollan áreas de azolve que se observan en la imagen 2011.

**Tabla 1.** Superficies en km<sup>2</sup> y lluvia en mm en la influencia de 20 kilómetros del Rio Usumacinta.

FECHA IMAGEN (D/M/A)	AGUA SOMERA	AZOLVE	AGUA PROFUNDA	LLUVIA ACUMULADA AL MES O AÑO ANTERIOR
24/01/2004	180.5	7.4	396.7	1373.7
31/10/2004	125.1	40.0	362.4	1127.0
28/01/2005	26.7	6.8	21.1	1210.5
23/10/2005	190.5	468.1	117.4	1579.8
21/02/2007	9.5	6.8	46.5	1386.1
20/04/2010	35.5	16.1	16.1	1121.2
15/01/2011	22.1	192.0	116.4	1342.5
29/03/2011	3.5	6.7	3.8	1342.5
08/01/2012	8.6	8.6	222.8	1552.0
24/02/2012	109.1	6.9	28.7	1552.0

El cálculo de los azolves también se realizó para el tramo de río de 1km, se observó que en las lluvias de octubre de 2005, el río tuvo la mayor cantidad de azolve (115,8 km<sup>2</sup>); en cambio los años siguientes registraron valores semejantes en el patrón de superficies (Tabla 2). De este modo, se puede considerar que el efecto del azolve se observa mejor en un radio de influencia mayor a 1 km.

**Tabla 2.** Superficies en km<sup>2</sup> en la influencia de 1 kilómetro del Rio Usumacinta.

FECHA IMAGEN (D/M/A)	AGUA SOMERA	AZOLVE	AGUA PROFUNDA
24/01/2004	25.0	6.4	2.9
31/10/2004	14.7	1.2	58.7
28/01/2005	1.4	1.4	6.3
23/10/2005	21.2	115.8	27.7
21/02/2007	1.3	1.0	21.1
20/04/2010	18.8	8.9	53.7
15/01/2011	0.7	3.3	15.2
29/03/2011	0.7	3.4	2.9
08/01/2012	26.5	6.3	35.0
24/02/2012	5.4	0.4	1.3

## 5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los efectos del cambio climático se manifiestan de diferente manera, como periodos de estiaje intensos, incremento del nivel del mar, con la intensidad y frecuencia del periodo de lluvias (IPCC, 2007). En el río Usumacinta, a través de la evaluación de la precipitación con registros desde 1963, se evidenció que existió un incremento en la intensidad de la precipitación en años recientes, específicamente fue mayor durante los años 2005 y 2010.

El incremento en las lluvias para 2005, se debió al afecto del huracán Stan, formado en las aguas del Atlántico, el cual produjo lluvias prolongadas e intensas del 3 al 6 de octubre en territorio chiapaneco, que causaron desprendimientos de tierra, inundaciones y el desbordamiento de ríos; aunque los daños más severos ocurrieron en la Sierra de Chiapas y el sur del estado, también los efectos se sintieron en la región Selva (SEGOB y CENAPRED, 2006).

En 2010, la precipitación rebasó el máximo histórico de 50 años, como resultado de diversas depresiones tropicales que afectaron a Chiapas. Específicamente en la zona de estudio, durante el mes de septiembre se incrementaron las lluvias por la depresión tropical Matthew (El Heraldo de Chiapas, 2010).

De este modo, los resultados obtenidos coinciden con la tendencia mostrada en el análisis histórico de la precipitación, desde 1901 a 2000, que indica un incremento desde 100 a 300 mm en la región Selva (Ramos et al., 2010).

En los ríos, los efectos de las fuertes lluvias se reflejan en las alteraciones del flujo y volumen (Palmer et al., 2009), en el río Usumacinta se evidenció a través de una mayor cantidad de azolve, también se observaron modificaciones en el canal a través del curso del río, que se suman a su dinámica natural.

Se pudiera considerar que existe una relación entre la parte del río analizada y la cantidad de azolve. Sin embargo, los datos obtenidos muestran que la parte baja del Río Usumacinta (zona norte de Chiapas) tuvo la mayor superficie de azolve en 2005, pero después disminuyó en la misma proporción en 2007. Lo mismo sucedió en la parte alta del Río (zona sur del estado), que mostró un incremento en 2004 pero después una disminución en la cantidad de azolve. De esta manera, aunque el río Usumacinta al sur tiene un incremento de descarga hacia la parte baja y se ve afectado por la cantidad de sedimento acarreado a lo largo de su curso, sin embargo, los datos de azolve no se han incrementado a lo largo del tiempo, más bien muestran un proceso regulatorio dependiendo de la dinámica fluvial.

Los efectos del cambio climático no actúan de forma independiente en los sistemas acuáticos. Es necesario considerar de forma paralela, la modificación de la cuenca de captación en cuanto a la deforestación, el cambio de uso de suelo y la fragmentación del paisaje, y que durante el periodo de lluvias incrementan la erosión, el acarreo de material y la presencia de sólidos disueltos y suspendidos, trayendo como consecuencia la presencia de zonas de azolves y modificación del sustrato del río.

## AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación de Corredores Biológicos y Recursos Biológicos de la CONABIO por el financiamiento otorgado.

## REFERENCIAS

- Comisión Nacional del Agua. CONAGUA 2011. Bases de datos Registros históricos y recientes de lluvia y temperatura.
- Comisión Nacional del Agua. CONAGUA 2012. Bases de datos estaciones climáticas y automatizadas.
- El Heraldo de Chiapas. 2010. Termina temporada de lluvias en Chiapas, última actualización: 30 de noviembre de 2010. <http://www.oem.com.mx/elheraldodechiapas/notas/n1872600.htm> Fecha de consulta. 10 de noviembre de 2012.
- IPCC, 2007. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- Palmer, M. A., D. P. Lettenmaier, N. L. Poff, S. L. Postel, B. Richter y R. Warner. 2009. Climate change and river ecosystems: protection and adaptation options. *Environmental Management* 44:1053-1068.
- Ramos, H. S. (Coord). 2010. Proyecto “Escenarios climáticos para el estado de Chiapas”. Informe final. Fase II. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Noviembre 10, 2010.
- Secretaría de Marina. SEMAR, 2012. Imágenes de satélite Spot. Resolución 10 m.
- Secretaría de Gobernación y Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2006. *Características e impacto socioeconómico de los huracanes “Stan y “Wilma” en la República Mexicana en el 2005*. SEGOB y CENAPRED. México, D. F.

# INFLUENCIA DE LA GEOMORFOLOGÍA SOBRE LA DIVERSIDAD DE PECES EN LA CUENCA TEPALCATEPEC-INFIERNILLO, MÉXICO.

Martina MEDINA-NAVA<sup>1</sup>, Ricardo Miguel PÉREZ-MUNGUÍA<sup>1</sup>, Ulises TORRES-GARCÍA<sup>2</sup>, Miguel Ángel GARCÍA VELÁZQUEZ<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edificio R, planta baja Ciudad Universitaria, martinamedi@gmail.com. <sup>2</sup> Andador Vicente Guerrero, Esquina Carretera San Juan del Río – Xilitla. Col. Centro, Jalpan de Serra, Querétaro. C. P. 76340. CONANP.

## RESUMEN.

Se investigó acerca de las posibles relaciones entre la geomorfología de ríos de la cuenca Tepalcatepec-Infiernillo y la comunidad íctica. Los objetivos fueron: describir las variaciones de la riqueza y la diversidad que ocurren desde la parte alta de la cuenca, a su salida en la confluencia de los tributarios al río “El Marqués”, e identificar las variables geomorfológicas que ayuden a entender estas variaciones. Se evaluó la composición, diversidad, y abundancia relativa. Para la evaluación geomorfológica se tomó como base los criterios de las variables físicas que determinan el estado más probable de los ríos y arroyos, además se incluyeron las variables físicas de la evaluación visual de calidad ambiental visual. Se utilizó un análisis de componentes principales para establecer las variables geomorfológicas y de la calidad ambiental visual, que ofrecen una mayor comprensión, posteriormente se corrió un modelo lineal generalizado para encontrar su relación con la diversidad. Se encontró que la diversidad y riqueza aumenta en el sentido arriba-abajo y que la composición está explicada por la heterogeneidad geomorfológica. Estos resultados amplían el conocimiento que se tiene de los procesos geomorfológicos que a escala local determinan el hábitat y por lo tanto influyen en la comunidad de peces de ríos y arroyos.

Palabras clave: Estado más probable de ríos, Calidad Ambiental Visual, ictiofauna, diversidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se ha resaltado la importancia de entender el arreglo continuo, jerárquico y heterogéneo del hábitat en ríos y arroyos en el espacio y tiempo, lo cual tiene repercusiones sobre la persistencia, abundancia y productividad de las poblaciones de peces a lo largo del río (Schlosser y Angermeier, 1989; Angermeier y Winston, 1998; Fausch *et al.*, 2002, Habit *et al.*, 2006). Pocos ecólogos han tratado de relacionar la geomorfología fluvial con la estructura de las comunidades acuáticas (Lamouroux *et al.*, 2002, Walters *et al.* 2003, Sullivan *et al.* 2006, Rosgen, 1996; Montgomery y Bolton, 2003). Sin embargo estudios como los de Fausch y Northcote, (1992) y McIntosh *et al.* (2000) han documentado de manera particular, que la velocidad de la corriente, la profundidad, la pendiente y el tipo de sustrato son las variables que explican la estructura de las comunidades ícticas en ríos y arroyos de zonas templadas. Para México y en particular en la zona Balseana los estudios de la ictiofauna son limitados y hasta el momento no se ha propuesto relacionar las características del cauce (geomorfología) con la estructura de las comunidades de peces. Con la idea de ampliar el conocimiento de las variables geomorfológicas y su relación con la heterogeneidad



física y biológica en ríos y arroyos de la cuenca Tepalcatepec-Infiernillo (Región Hidrológica 18, río Balsas), el presente trabajo planteó identificar las variables geomorfológicas que influyen en los patrones de diversidad de peces. Para ello se propuso describir la variación longitudinal en cuanto a la composición y diversidad de la comunidad de peces e identificar las variables geomorfológicas que permitan a entender dicha variación y finalmente comparar los resultados con las predicciones de los modelos conceptuales de los ríos y peces.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro de la región hidrológica del Balsas se ubica la cuenca Tepalcatepec-Infiernillo, la cual cuenta con una superficie de 4281 km<sup>2</sup> y se ubica entre las coordenadas geográficas 18° 50' -19° 35' latitud N y 101° 25.0' -102° 15' longitud O (Figura 1). Geológicamente la cuenca se localiza en tres regiones: al norte en el sector central del Cinturón Volcánico Mexicano. La zona media correspondiente al cinturón magmático del Eoceno-Oligoceno. La zona sur se caracteriza por encontrarse depósitos piroclásticos y fluviolacustres de la depresión del Tepalcatepec-Infiernillo (Schaaf *et al.*, 1995; Corona, 1999). Los climas van desde templado, en altitudes de más de 1200 msnm, a cálido en la zona media entre los 1100 a 400 msnm, hasta el tipo seco muy cálido en altitudes de 300 msnm y menores. La vegetación predominante es el bosque tropical caducifolio, además es posible encontrar en la parte alta de la cuenca bosque de pino, entre los 1500 y 3000 m de altitud (Rzedowski, 1988). Entre las actividades económicas está la agricultura de temporal y de riego, por lo que más del 50% de la cobertura vegetal natural ha sido alterada para plantaciones de frutales principalmente.

**Colecta de material biológico.** Se establecieron diez sitios de muestreo en la cuenca (Figura 1). Se realizaron muestreos trimestrales durante el año 2009. Para la recolecta del material biológico se utilizó equipo de electropesca de mochila, red tipo chinchorro y atarraya. En los sitios, se utilizó como unidad muestral un tramo de 100 m, en el que se colectó por periodos de 90 minutos (Habit *et al.*, 2003, 2006). Todos los peces capturados se fijaron en formol al 10% y se preservaron en alcohol etílico al 70%. Los organismos recolectados se identificaron utilizando los criterios de Miller *et al.* (2005). Los atributos comunitarios analizados para cada sitio fueron: riqueza específica (S), la diversidad medida con el índice de Shannon (H') y la abundancia relativa (AR) de las especies (Magurran, 2004). **Determinación de variables geomorfológicas.** Para establecer la condición geomorfológica se siguió a Rosgen (1996). Para valorar la calidad ambiental de cada sitio de colecta, se incluyeron las variables de la valoración de la calidad ambiental visual (VCAV), determinada con el protocolo propuesto por Barbour *et al.* (1999). Para caracterizar el tipo de sustrato predominante (D<sub>50</sub>) se siguieron los criterios de Bunte y Abt (2001). **Análisis de datos.** De manera preliminar, con la finalidad de determinar si había diferencia entre las variables de riqueza y diversidad entre las distintas épocas y sitios de muestreo, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), resultando no significativa para las diferentes épocas y significativas para los sitios, por lo que se utilizaron todos los datos sin considerar la temporalidad. Utilizando los datos provenientes de las variables geomorfológicas y de VCAV, se seleccionaron aquellas que permitieran explicar los gradientes de variación ambiental entre los sitios, se corrieron análisis de componentes

principales ACP (Gauch, 1986). Se eligieron cinco de las variables geomorfológicas: el ancho del área de inundación (AAI), ancho de máxima ribera (AMR) profundidad media (PMED), relación ancho profundidad (RELA/P) y profundidad máxima (PMAX) y tres de VCAV: estatus del flujo (SFLUJ), gradiente de sedimentación (GRADSED) y alteraciones del canal (ALTCA). Finalmente para establecer la relación de estas ocho variables geomorfológicas con la diversidad y riqueza, se corrió un Modelo Lineal Generalizado (MLG). Para estos análisis se emplearon los paquetes estadísticos JMP V.6 (SAS, 2001) y SAS (SAS, 2000). Para todas las pruebas se utilizó como valor crítico una  $P < 0.05$ .

### 3. RESULTADOS

Las porciones de los ríos y arroyos evaluados incluyen una variedad de atributos físicos que, de acuerdo con los criterios de Rosgen (1996), lograron la clasificación de los sitios en cuatro categorías diferentes (Tabla 1). La VCAV calificó al 70 % de los sitios en la categoría de subóptimo, el 20% en óptimo, mientras que el sitio 2 fue calificado como marginal (Tabla 2). La comunidad íctica comprende ocho especies nativas y nueve exóticas. La de mayor distribución y abundancia relativa es la especie *Ilyodon whitei*. Los valores de riqueza y diversidad obtenidos, en la parte alta se encontraron de una a cuatro especies, con valores de diversidad de 0; en el sitio 7. La parte media o de transición en cuanto a riqueza varió de seis a cuatro especies, y la diversidad osciló de 1.2 a 1.7; ocurriendo el valor mayor en el sitio 6, que se ubica en la parte más baja de la zona de transición. El sitio más bajo presentó siete especies con el mismo valor de diversidad que el sitio seis (Tabla 3).

En el análisis de las variables geomorfológicas con el componente principal (ACP), los dos primeros eigenvectores explican el 75.0% acumulado de la ribera (AMR 0.4902), profundidad media (PMED 0.4079), relación ancho profundidad (RELA/P 0.3590) y profundidad máxima (PMAX 0.3556). Este primer eigenvector proporciona un gradiente de variación de los sitios que son menos anchos (sitios 2, 3, 1, 7) aumentando los valores (más amplios) hacia los sitios 4,5 y 10. En el segundo eigenvector las variables con mayor valor son de la VCAV: Estatus del flujo (SFLUJ 0.5914), gradiente de sedimentación (GRADSED 0.5711) y alteraciones del canal (ALTCA 0.5352). Este eigenvector conforma un gradiente que va de una calidad ambiental buena en los sitios 1, 3, 7, 6, 9, 4 y 5, a un decremento de la calidad en los sitios 2, 8 y 10 (fig 2). Con estas ocho variables obtenidas se corrió el modelo lineal generalizado (MLG), usando como variables respuesta los valores de diversidad y riqueza. Para el modelo con la diversidad resultaron significativas las siguientes variables; REL A/P, ALTCNL, GRASED, SFLUJ y PMAX. Con los valores de la riqueza resultaron significativas el SFLUJ, ALTCANL, GRASED y T/AP; en el caso de la PMAX se considera marginal por su valor de probabilidad ( $p = 0.054$ ).

#### 4. DISCUSIÓN

Los patrones de la evaluación geomorfológica y de la calidad ambiental visual, que se determinaron en este estudio, permiten apoyar los resultados de estudios semejantes de la relación entre la estructura de las comunidades y estas variables como lo demostraron Walters *et al* (2003) y Sullivan *et al* (2006). En función de las variables geomorfológicas elegidas del ACP, y de aquellas que resultaron significativas en el MLG, las variables como el confinamiento (CONF) y el ancho de ribera máxima (AMR), nos indican la disponibilidad de área y por lo tanto de hábitat. Así mismo, las variables como son la profundidad media (PMED) y máxima (PMAX) que están relacionadas con el volumen de caudal disponible, permiten entender que no se pierde la conectividad durante todo el año, esto puede ser una de las causas que permite a la ictiofauna tener disponibilidad de hábitat durante todas las épocas, incluso en el estiaje. Caso contrario de la cuenca del Cutzamala que pertenece a la misma región hidrológica del Balsas, donde Paulo-Maya y Ramírez (1997). La VCAV permitió determinar las modificaciones o ajustes de los valores que en condiciones naturales presentarían los diferentes sitios evaluados en la cuenca (Bunn y Arthington, 2002). Por ejemplo, en los sitios de la parte media se ha perdido la cubierta vegetal hasta en un 75 %, en tanto que en la parte baja, la disminución es en promedio un 50%. Estas modificaciones provocan en algunos de los sitios una mayor carga de sedimentos (Gregory *et al* ,1991) y para otros una tendencia hacia la homogenización de las formas del segmento de río evaluado, como es el caso del sitio 6. En este contexto la presencia de embalses o pequeñas represas modifican el flujo o caudal natural, provocando su reducción u oscilaciones irregulares, y a su vez provocan el aumento de las zonas de remanso, es decir tiende a cambiar de un sistema lótico a léntico (Bunn y Arthington, 2002; Montgomery y Bolton, 2003). El caso más evidente fue el encontrado para el sitio 2, que muestra alteración en los patrones de velocidad-profundidad debido a la construcción de una represa que se encuentra aguas abajo. Estos impactos están ligados a la alteración del proceso de acumulación natural de sedimento y por lo tanto en la disminución en la disponibilidad de sustratos para la epifauna y de manera indirecta para las especies que son de hábitos bentofagos como es el bagre del Balsas *Ictalurus balsanus*. Este tipo de impacto, al parecer puede ser la respuesta al tipo de sustrato ( $D_{50}$ ) que se determinó para los sitios 1 y 8 que son menores al esperado. Ya que están relacionadas con la disponibilidad del hábitat, a menor valor podemos inferir mayor homogeneidad del hábitat (Barbour *et al.*, 1999; Fausch *et al.*, 1990). El análisis del MLG que fue significativo al menos para cinco variables, nos permite establecer que el patrón geomorfológico y de la evaluación de VCAV y por tanto del hábitat en los ríos y arroyos evaluados, está relacionado al patrón de diversidad y riqueza de la comunidad de peces. Este patrón corresponde al reportado por otros autores (Schlosser, 1982; Paulo-Maya y Ramírez, 1997; Habit *et al*, 2006). Esta relación se refleja con la mayor variación de los tipos de cauces en la subcuenca del río Parota y más homogéneos para la del río Cupatitzio. Esto se ha explicado a partir de las propuestas con relación a que existen sistemas fluviales en los que ocurren discontinuidades provocadas por la ramificación de la red hidráulica tributaria del cauce principal, como es el caso de la subcuenca del Parota. Los resultados sugieren que las características geomorfológicas relacionadas con el ancho y la profundidad de los cauces, así como las variables vinculadas a los procesos de disipación de la energía del agua, aportan información que contribuye a explicar la riqueza y diversidad de esta cuenca. Esto resalta que se debe de prestar atención a la evaluación física del hábitat en estudios orientados a la predictibilidad

de la variación en diversidad y riqueza de las comunidades de peces, en condiciones semejantes a la estudiada. Es importante señalar la necesidad de contar con propuestas de evaluación geomorfológica y de la calidad ambiental visual acordes a nuestro país, ya que la información hasta el momento es escasa y aislada. Se requiere incrementar los esfuerzos para elevar el conocimiento sobre las relaciones de las condiciones físicas de los cauces y sus componentes biológicos, a fin de lograr bases sólidas para la generación de modelos válidos en el manejo y conservación de las comunidades acuáticas.

## AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo otorgado a la primera autora. A la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por el apoyo al proyecto 3.15. A Xavier Madrigal Guridi, Miguel Ángel García Velázquez, Alethia Gómez García, Gerardo Fraga Cortés, Juan Pablo Ramírez Herrejón y Rodolfo Pérez, por su ayuda en el trabajo de campo. A Berenice E. Vital R. por su apoyo en el trabajo de laboratorio. A la Dra. Yvonne Herrerías Diego por su apoyo y ayuda con el análisis del MLG. Al Dr. Juan Manuel Ortega Rodríguez por su tiempo y trabajo en el SIG para la elaboración de los mapas. Al Dr. Raúl Pineda por su invaluable apoyo en el préstamo de equipo para la recolecta del material biológico.

## REFERENCIAS

- Angermeier, P.L. y M. R. Winston. 1998. Local vs regional influences on local diversity in stream fish communities of Virginia. *Ecology* 79 (3): 911-927.
- Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Zinder y J. B. Stribling. 1999. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. 2a Ed. EPA 841 –B41-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water, Washington, D.C. 1-189 p.
- Bunn, S.E. y A.H., Arthington. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimens for aquatic biodiversity. *Environmental Management*. 30:492-507.
- Bunte, K y S. R. Abt. 2001. *Sampling surface and subsurface particle size distributions in wadeable gravel and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics and streambed monitoring*. General technical report RMS-GTR. Forest Service. Rocky Mountain Research Station. United States Department of Agriculture. 428 p.
- Corona C., P. 1999. El basamento litológico y tectónico del estado de Michoacán. In. Corona-Chávez, P. e I. Israde-Alcántara (eds.). *Carta Geológica de Michoacán*. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, p. 10-26.
- Fausch, K.D. y Northcote, T.G. 1992. Large Woody debris and salmonid habitat in a small coastal British Columbia stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 682-693.
- Fausch, K. D, C. E. Togersen, C. V. Baxter & H.W., Li. 2002. Landscape to riverscapes: Bridging the gap between research and conservation of stream fishes. *Bioscience* 52 (6): 483-496.

- Gauch, H.G. JR. 1986. *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge University Press. 298 p.
- Gregory, S.V., F. J. Swanson, W. A. McKee y K. W. Cummins. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. Focus on links between land and water. *BioScience* 41 (18): 540-551.
- Habit, E., M. C. Elk, R. C. Tuckfield y O. Parra. 2006. Response of the fish community to human-induced changes in the Biobío River in Chile. *Freshwater Biology* 51: 1-11.
- Habit, E., P. Victoriano y A. Rodríguez-Ruiz. 2003. Variaciones espacio-temporales del ensamble de peces de un sistema fluvial de bajo orden del centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 3-14.
- Lamouroux, N., N. Leroy P. y P.L. Angermeier. 2002. Intercontinental convergence of stream fish community traits along geomorphic and hydraulic gradients. *Ecology* 83 (7): 1792-1807.
- Magurran, A. 2004. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Blackwell Science. United Kingdom 256 p.
- McIntosh, B.A., J.R. Seddell, R.F. Thurow y G.L. Chandler 2000. Historical changes in pool habitats in the Columbia River Basin. *Ecological Applications* 10:1478-1496.
- Montgomery, D.R. y S.M Bolton. 2003. Hydrogeomorphic variability and river restoration. *In*
- Paulo-Maya, J y A. Ramírez-Enciso. 1997. Distribución espacio-temporal de la ictiofauna del río Cutzamala, Michoacán, México. *Revista Biología Tropical* 45:845-853.
- Rosgen, D. 1996. *Applied river morphology*. Second edition. Wildland Hydrology. Pagosa Spring, Colorado SAS Institute. 1-179 p.
- Rzedowski, J. 1988. *Vegetación de México*. Limusa, México. 432 p.
- SAS Institute. 2000. *SAS/STAT User's guide*, Version 5, 5ª ed. SAS Institute, Cary, Carolina.
- Statistical Analysis System. 2000. SAS Institute Inc. version 8.1*
- SAS Institute. 2001. JMP v. 6.
- Schaaf, P., Z. D. Moran, B. M. S. Hernández, S. G. Pichardo, G. Tolson y H. Köhler. 1995. Paleogene continental margin truncation in southwestern Mexico: Geochronological evidence. *Tectonics* 14: 1339-1350.
- Schlosser, J. y P. Angermeier. 1989. Species-area relationships for streams fishes. *Ecology* 70 (5): 1450-1462.
- Sullivan, S. M. P., M. C. Watzin y W. C. Hession. 2006. Influence of stream geomorphic condition on fish communities in Vermont, USA. *Freshwater Biology* 10:1-16.
- Walters, D. M., D. S. Leight, D. S. Freeman y C. M. Pringle 2003. Geomorphology and fish assemblages in a Piedmont river basin, USA. *Freshwater Biology* 48:1950-1970.

**Tabla 1.** Ubicación y evaluación geomorfológica de los cauces de la cuenca Tepalcatepec-Infiernillo.

Subcuenca	Sitio	Orden de Corriente	Altitud (msnm)	CA	VELCORR (cm s <sup>-1</sup> )	AMR (m)	PMED (m)	REL A/P	PMAX	AAI	CON	D <sub>50</sub> (mm)	GP	SIN
Río Parota	1	5°	1275	B4	0.52	6.70	0.86	<b>7.79</b>	1.14	9.80	1.46	<b>16-32</b>	3.8	1.86
	2	5°	1116	B3	0.66	13.30	0.52	28.82	1.21	19.30	1.45	64-128	2	1.53
	3	5°	664	B4	1.08	15.17	0.74	<b>6.16</b>	1.27	20.70	1.37	16-32	4.6	1.48
	4	5°	459	B3	0.32	60.60	0.91	<b>66.73</b>	1.57	100.00	1.65	64-128	3.8	<b>1.08</b>
	5	5°	429	F3	0.38	47.60	1.53	31.11	2.66	100.00	0.02	64-128	1.69	<b>1.18</b>
	6	6°	332	C4b	1.12	27.20	1.51	18.01	2.50	62.10	2.28	16-32	3.8	1.02
Río Cupatitzio	7	5°	1344	A3	0.82	19.70	0.83	23.56	1.60	23.6	1.19	128-256	4.15	1.26
	8	5°	753	B3	0.48	27.85	1.17	23.68	2.59	45.2	1.62	<b>32-64</b>	3.47	1.63
	9	6°	412	B3	0.41	28.64	1.02	28.07	2.00	36.6	1.27	128-256	3.2	<b>1.07</b>
Río Marqués	10	7°	212	F5	ND	71.90	1.68	<b>42.80</b>	1.96	78.4	1.09	0.5-1.0	1	1.30

CA = Tipo de cauce, VELCORR = velocidad de la corriente, AMR = ancho de máxima ribera PMED = profundidad media REL A/P = relación ancho profundidad, PMAX = profundidad máxima, AAI = ancho del área de inundación, CON = confinamiento D<sub>50</sub> = diámetro promedio de las partículas del sedimento, GP = pendiente, SIN = sinuosidad. ND = No determinado

**Tabla 2.** Evaluación de la Valoración de la Calidad Ambiental Visual (VCAV) de los cauces de la cuenca Tepalcatepec-Infiernillo.

SITIO	Gradiente	SDE	EMB	SETQ	PTVPROF	VEST	GRASED	SFLUJ	ALTCA	FRFL	SIN	ESTRIB			VRIP			AZVEGRIP	CALIF	CATEGORÍA
												IZQ	DER	DER	IZQ	IZQ	DER			
1	ALTO	18	15		13		16	19	18	19		10	9	9	0	0	0	155	SUBÓPTIMO	
2	ALTO	6	3		6		8	13	10	13		7	6	6	0	0	0	82	MARGINAL	
3	ALTO	18	16		20		20	16	14	16		7	10	3	10	8	10	168	ÓPTIMO	
4	ALTO	15	14		13		16	20	16	10		10	10	5	0	0	0	136	SUBÓPTIMO	
5	ALTO	15	13		14		14	20	20	16		8	7	8	0	0	5	143	SUBÓPTIMO	
6	ALTO	18	16		18		20	20	18	20		10	10	10	10	10	10	190	ÓPTIMO	
7	ALTO	16	15		14		16	18	15	18		9	8	8	9	5	6	157	SUBÓPTIMO	
8	ALTO	15	13		18		11	9	10	8		10	9	10	10	10	10	143	SUBÓPTIMO	
9	ALTO	11	13		14		16	18	18	15		9	9	8	5	5	9	156	SUBÓPTIMO	
10	BAJO	16		13		16	6	10	12		9	6	7	7	5	7	4	118	SUBÓPTIMO	

SDE=sustrato disponible para la epifauna, EMB = embebimiento SETQ = Caracterización del sustrato de los estanques- PTVPROF = patrones de Velocidad/profundidad VEST = variabilidad de los estanques GRASED = gradiente de sedimentación, SFLUJ = estatus del flujo, ALTCA = alteraciones del canal FRFL = frecuencia de rápidos SIN = sinuosidad, ESTRIB = estabilidad de las riberas, IZQ:= izquierda, DER = derecha, VRIP = protección vegetal de las riberas, AZVEGRIP = Ancho de la zona de vegetación riparia. CALIF = calificación de la evaluación de la calidad del ambiente.

**Tabla 3.** Composición, diversidad, riqueza y abundancia relativa de la ictiofauna nativa de la cuenca Tepalcatepec-Infiernillo durante el año 2009.

H' = diversidad S = riqueza.

Especie	SITIOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Abundancia relative									
<i>Astyanax aeneus</i>	0	0	16	43	8	14	0	19	15	2
<i>Atherinella balsana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
<i>Cichlasoma istlanum</i>	0	0	0	1	1	17	0	13	22	11
<i>Ictalurus balsanus</i>	0	3	13	12	6	20	0	0	11	10
<i>Ilyodon whitei</i>	93	7	0	36	69	5	100	55	51	39
<i>Notropis moralesi</i>	0	0	47	1	0	16	0	0	0	0
<i>Poecilia butleri</i>	7	90	24	8	15	28	0	13	0	15
<i>Poeciliopsis balsas</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
H'	0.3	0.4	1.3	1.3	1.0	1.7	0.0	1.2	1.2	1.7
S	2	3	4	6	6	6	1	4	5	7



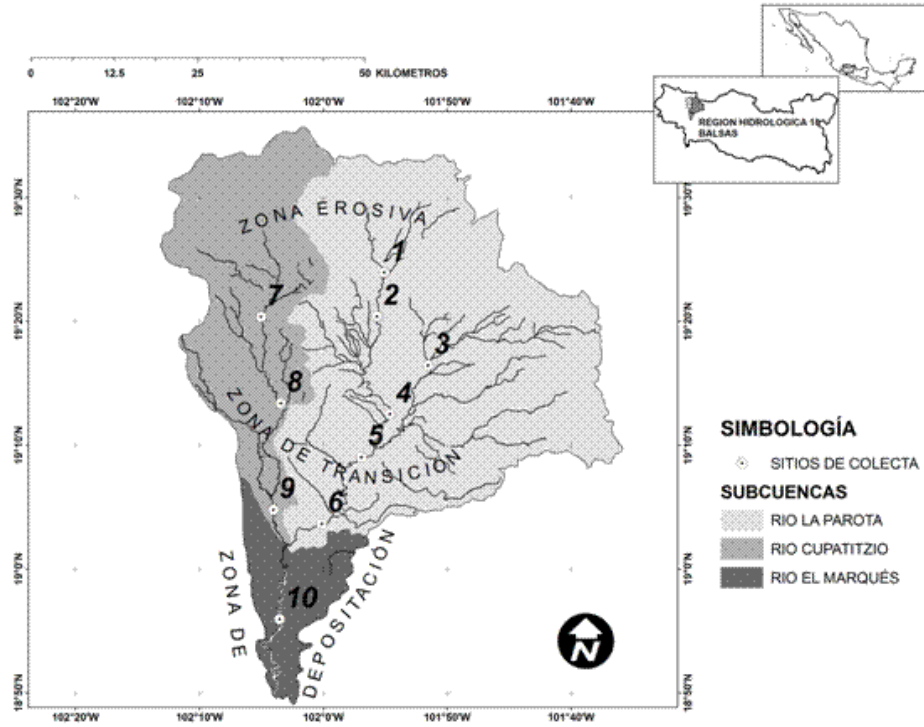


Figura 1. Localización del área de estudio y sitios de colecta. Cuenca Tepalcatepec-Infiernillo. Región del Balsas.

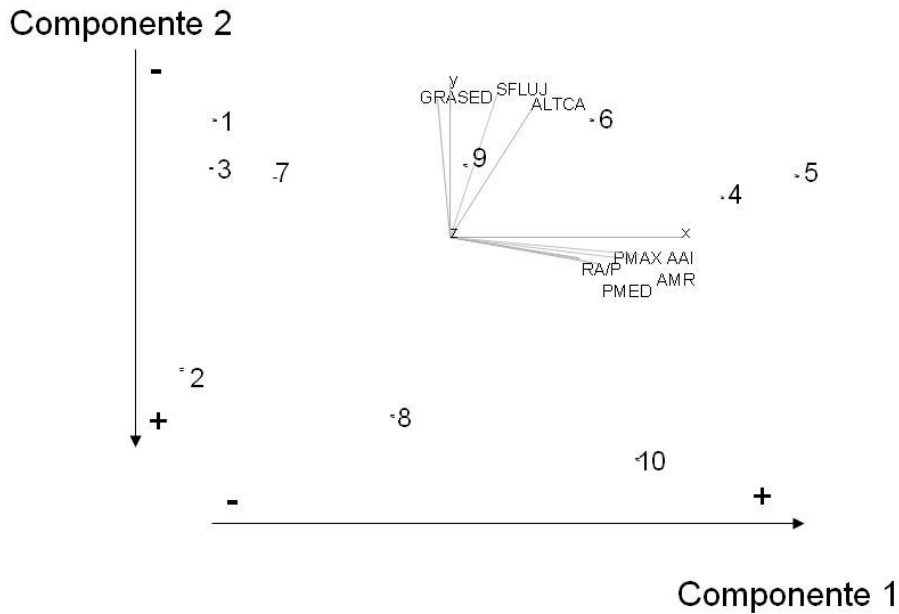


Figura 2. Gráfico del Análisis de Componentes Principales de las variables geomorfológicas de la valoración de la calidad ambiental visual. Cuenca Tepalcatepec-Infiernillo.

# REVEGETACIÓN NATURAL: ¿MAYOR INFILTRACIÓN EN UNA CÁRCAVA?

Javier RODRIGUEZ RODRIGUEZ<sup>a</sup>, Alberto GÓMEZ-TAGLE CHÁVEZ<sup>a</sup>, Dulce María ROSAS RANGEL<sup>a</sup>

Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, email: [bios.jr2@gmail.com](mailto:bios.jr2@gmail.com)

## RESUMEN

La infiltración dentro del ciclo hidrológico, es un proceso clave en el funcionamiento de los ecosistemas. Un descriptor confiable de la capacidad de infiltración es la conductividad hidráulica saturada (Ks) que puede ser medida con infiltrómetros de distinto tipo. Usualmente se maneja la premisa de que una mayor cobertura vegetal está relacionada con mayor capacidad de infiltración del suelo. En este estudio probamos esta premisa comparando la conductividad hidráulica superficial entre una cárcava activa (CA) y una cárcava revegetada naturalmente con cobertura de pino de aproximadamente 65 años (CR). Ambos sitios presentan luvisoles crómicos en el sur de la cuenca de Cuitzeo, Michoacán. Se obtuvo la Ks a partir de mediciones de infiltración insaturada empleando infiltrómetros de disco a tensión y la solución de Gardner (1958). Los resultados mostraron que no existen diferencias ni en la textura ni la densidad aparente entre las dos cárcavas ( $p=0.876$ ). La CA tiene una Ks significativamente ( $p=0.0337$ ) mayor que la CR con valores promedio de  $6.51 \pm 3.67$  y  $0.71 \pm 0.49$  mm/h respectivamente. Dentro de la CR, no existen diferencias significativas en la Ks dentro y fuera de la copa de los árboles ( $p= 0.505$ ). Por el contrario, el espesor del mantillo es significativamente mayor junto al tronco de los árboles ( $p= 0.023$ ) al igual que la densidad aparente ( $p= 0.0239$ ) fuera de la copa de los árboles. Además, existen diferencias significativas en los valores de alfa (inverso de la longitud capilar promedio de los poros del suelo) entre las dos cárcavas ( $p=0.0117$ ) siendo mayor en la CA ( $1.12 \pm 0.27$  -m ). Encontramos que en ambos sitios, los mesoporos pequeños conducen la mayor cantidad del flujo de infiltración oscilando entre el 80 y 85% del flujo total. Al no existir diferencias en la textura, ese comportamiento se atribuye a la presencia de hidrofobicidad en el suelo bajo dosel de pinos no presente en la CA. Concluimos que contrario a lo esperado, la infiltración de agua fue menor bajo el dosel arbóreo.

## 1 INTRODUCCIÓN

A nivel global, el 64 % de la población vive en cuencas hídricamente estresadas debido a modificaciones en la cobertura (FAO, 2006). En México, 21 % de los acuíferos están en condiciones críticas y 76 % del territorio nacional es afectado por la erosión (Manson, 2004). Actualmente la comunidad científica ha tomado interés en evaluar el efecto de la cobertura vegetal y uso del suelo sobre la distribución de los recursos hídricos ya que está bien documentado que la cubierta vegetal se encuentra íntimamente relacionada con la cantidad y la distribución de los recursos hídricos (Lee, 1980). Sin embargo, las modificaciones antrópicas o naturales que se producen en los ecosistemas pueden llegar a tener repercusiones significativas sobre el balance hídrico local (Equihua-Zamora *et al.*, 2007; Muñoz-Villers, 2008; Muñoz Villers *et al.*, 2011).

En un evento de precipitación en un bosque, la parte que alcanza el suelo y se infiltra modifica la reserva de agua edáfica y puede ser utilizada por la vegetación (transpiración) o percolar hacia las capas inferiores del suelo como infiltración neta del sistema (Kwicklis *et al.*, 2005; Echeverría *et al.*, 2007). Una vez que el agua llega al suelo, la facilidad del flujo es descrita por la conductividad hidráulica saturada (Ks) (Campos-Aranda, 1987; Porta *et al.*, 1999) y está determinada por las características de tamaño y conectividad del espacio poroso

(Reynolds y Elrick, 1991). Este tiene dos dominios que controlan el flujo de agua. Los micro y mesoporos conforman el dominio matricial, determinado por la distribución granulométrica, la densidad aparente y la cantidad y calidad de materia orgánica (Reynolds y Elrick, 1991; Logsdon y Jaynes, 1993). Los macroporos comprenden el dominio del flujo rápido a través de canales preferenciales. Este dominio está conformado por la macro y meso estructura del suelo y los canales generados por bioturbación animal o vegetal (Langner *et al.*, 1999; Pachepsky y Rawls, 2003; Luo *et al.*, 2008).

La proporción del flujo preferencial respecto al flujo total de infiltración en el suelo varía dependiendo de los factores asociados a la macroporosidad y puede comprender entre el 2.4 y 27% del flujo total (Cheng *et al.*, 2007; Eguchi y Hasegawa, 2008) y puede exceder hasta 5700 veces la velocidad del flujo matricial (Cheng *et al.*, 2007). De forma particular, los suelos con horizontes arcillosos sin macroporos inducidos por raíces, actúan como una capa que puede impedir la recarga de agua subterránea y esto resulta en una percolación menor al 1% de la precipitación anual. En cambio suelos con horizontes arcillosos pueden infiltrar al lecho de roca permeable subyacente hasta un 20% de la precipitación anual a través de flujo preferencial generado por canales de raíz (Guan *et al.*, 2010).

De esta manera, se conoce que la variación de las propiedades hidrofísicas del suelo están ligadas a su uso como resultado de las actividades humanas las cuales afectan más a las capas superficiales (Matula, 2003; Perkins, *et al.*, 2007; Trimble y Mendel, 1995; Zimmermann, *et al.*, 2006). Por lo que el tiempo de recuperación después de alguna transformación está relacionado con la intensidad de la perturbación, los patrones de revegetación, el tipo de suelo y la actividad antropogénica adicional (Ziegler, *et al.*, 2006). En este sentido, Gómez-Tagle (2009) utilizando un infiltrómetro de carga constante y anillo sencillo, encontró que no hay diferencias en Ks en plantaciones de *Cupressus* y una cárcava, por lo que sustenta la hipótesis de que los valores de Ks en horizontes superficiales están influidos por el efecto de la historia de uso de suelo, más que por el efecto de la cubierta vegetal que presenten en la actualidad. Por su parte, Li y Shao (2006) estudiaron los cambios en las propiedades físicas del suelo después de una recuperación natural de la vegetación en una secuencia cronológica de 150 años y encontraron mayores valores de Ks en zonas dominadas por matorrales y bosques de *Quercus* que en zonas con pastizales y actividades agropecuarias.

El objetivo del presente trabajo fue cuantificar *in situ* y comparar la partición del flujo de infiltración superficial en una cárcava revegetada naturalmente (CR) y una cárcava activa (CA) en el sur de la Cuenca de Cuitzeo y buscar resolver los siguientes cuestionamientos: ¿Cómo se modifica la partición de la infiltración (matricial vs preferencial) en una cárcava activa y en una cárcava revegetada? ¿Existe un efecto local de los árboles que pueda formar “islas de infiltración”?, esto de tal forma que exista una diferenciación en la infiltración por efecto de la copa de un árbol.

En caso de existir un efecto de “isla de infiltración” asociado a la cobertura de la copa, ¿Que propiedades fisicoquímicas del suelo se ven modificadas por este efecto?

## 2 MATERIALES Y METODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca parte alta de la subcuenca de Umécuaro que es tributaria del Río Grande de Morelia en la parte sur de la cuenca del lago de Cuitzeo en el norte del estado de Michoacán, al sur de la ciudad de Morelia (19° 32' 35.59" N y 101° 14' 20.5" O). Se caracteriza por un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación promedio anual oscila entre 810 y 967 mm mientras que la temperatura media anual es de alrededor de 17.5 °C basado en la caseta ubicada en la población de Santiago Undameo, Mpio. Morelia (García, 2004). Está conformada por basaltos, depósitos de aluvi3n, rocas ígneas y brechas volcánicas (DETENAL, 1978a; DETENAL, 1978b) y data de los últimos procesos de formación del cintur3n volcánico en el periodo cuaternario.

El terreno es montañoso y moderadamente disecado con pendientes medias entre 10° y 20° (INEGI, 1979). La zona es una geoforma que corresponde a un lomerío suavizado por cenizas volcánicas (G3mez-Tagle, 2008).

Los suelos presentes en el área son Acrisoles 3rticos y Andosoles cr3micos en su mayoría (INEGI, 1979), aunque también hay presencia en menor proporci3n de Luvisoles y Gleysoles (DETENAL, 1979a; DETENAL, 1979b). Sin embargo se considera que la mayoría son suelos poligenéticos con un epiped3n ándico y un endoped3n lúvico (Servenay y Prat, 2003; G3mez-Tagle, 2008). Estos suelos están asentados sobre ignimbritas de la Cantera de Morelia (Bigioggero *et al.*, 2004; G3mez-Tagle, 2008). En general, son derivados de ceniza volcánica, materiales piroclásticos, procesos coluviales y material redistribuido por procesos erosivos. Predominan los escurrimientos temporales y efímeros de primer y segundo orden. Los bosques de pino-encino en esta parte del territorio se encuentran entre los 1900 y 2650 msnm. Las masas boscosas son en su mayoría de segundo crecimiento (< 50 años). Sin embargo existen remanentes importantes de bosque maduro (> 80 años) relativamente bien conservados en las partes con mayor dificultad de acceso. Además, debido a las condiciones socioecon3micas de la poblaci3n local, áreas considerables de bosque fueron desmontadas con fines agropecuarios durante los últimos 50 años (Mendoza *et al.*, 2002; L3pez *et al.*, 2006).

## 2.2 MÉTODOS

### 2.2.1 Diseño de muestreo para la obtenci3n de la infiltraci3n saturada superficial

Los sitios de muestreo se eligieron empleando un mapa de uso del suelo/cubierta vegetal detallado (1:5,500). Se definieron los polígonos para cada una de las coberturas a estudiar. En cada uno de los ambientes, se eligió un punto central a partir del cual mediante un sistema de coordenadas polares aleatorizando distancia y azimut en un radio de 13 m (530 m<sup>2</sup> aproximadamente), se seleccionaron 15 puntos dentro de la cárcava activa para llevar a cabo los ensayos de infiltraci3n. Los ensayos de infiltraci3n se realizaron con infiltr3metros de tensi3n automáticos tipo INDI-INECOL (G3mez-Tagle *et al.*, 2011).

En el sitio de cárcava revegetada, utilizando el mismo sistema de coordenadas polares, se muestrearon todos los árboles que estuvieron dentro del radio de 13 m (8 árboles) y se llevaron a cabo ensayos de infiltraci3n insaturada superficial. En cada uno de los ensayos de infiltraci3n se aplicaron cuatro tensiones: -0.5, -3, -6 y -9 cm de agua por un lapso de 45 a 90 minutos en intervalos de entre 2 y 5 minutos hasta alcanzar la fase de infiltraci3n estacionaria, esto se determinó cuando se obtuvo una tasa de infiltraci3n instantánea constante con <10% variaci3n por lo menos para 5 mediciones subsecuentes.

El muestreo de infiltración insaturada superficial se llevó a cabo tras identificar las ubicaciones (CA) o individuos elegidos (CR). En la CR, se midieron los diámetros N-S y E-O de la copa de cada árbol y se calculó el radio promedio de la copa. Las mediciones de infiltración se realizaron a 20 cm de distancia del tronco, a 0.5 radios de copa y a 1.25 radios de la copa. Dichas distancias se orientaron siguiendo un transecto con azimut aleatorio, teniendo como punto de origen el tronco. Con los datos obtenidos, se procedió a realizar el cálculo de la conductividad hidráulica de cada uno de los puntos empleando la solución de Logsdon y Jaynes (1993) para obtener los parámetros de la solución de Gardner (1958) y se obtuvieron también el número de poros efectivos para diferentes diámetros aparentes de acuerdo con la técnica de Watson y Luxmoore (1986).

### **2.2.2 Caracterización edáfica**

En cada uno de los ambientes se tomaron muestras de suelo en los puntos de infiltración seleccionados. Se realizaron los análisis fisicoquímicos de granulometría de la fracción fina (método de hidrómetro de Bouyoucos), densidad aparente (método del cilindro) y espesor del mantillo (cinco mediciones en un radio de 20 cm alrededor de los puntos de muestreo) únicamente en la cárcava revegetada de acuerdo con las técnicas de la Norma Oficial Mexicana REC-NAT 021 (DOF, 2002).

### **1.1 2.3 Análisis de datos y procesamiento estadístico**

Como se mencionó previamente los datos de infiltración insaturada se emplearon para calcular los parámetros de la ecuación de Gardner (1958) mediante el método de ajuste simultáneo no lineal de Logsdon y Jaynes (1993). Posteriormente se calcularon los porcentajes de flujo de infiltración, la cantidad de poros conducentes por metro cuadrado y la superficie de porosidad conducente para poros con diámetros aparentes  $\geq 1$  mm (macroporos), 0.1 a 1 mm (mesoporos grandes), 0.03 a 0.1 mm (mesoporos pequeños) y  $< 0.03$  mm (microporos).

Los datos se sometieron a pruebas de normalidad aplicándoles la prueba de Shapiro-Wilk. Una vez conociendo su distribución, se aplicaron análisis de correlaciones entre variables edáficas e hidrofísicas. Se formularon pruebas de ANOVA para comparar si existe diferencia estadística significativa entre las propiedades hidrofísicas antes mencionadas y el tipo de cubierta. Se exploró la dependencia de éstas y la distancia al tronco o tallo en la cárcava revegetada mediante análisis de varianza (ANOVA) paramétricos y no paramétricos. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo empleando el ambiente y lenguaje de programación estadístico R.

## **3 RESULTADOS**

Debido a que se conoce que la conductividad hidráulica no se comporta como una variable normal, se le aplicó logaritmo natural para poder hacer un análisis de varianza (ANOVA) entre los dos tipos de cárcavas. La prueba de ANOVA mostró que la  $K_s$  en la CA es significativamente mayor que en la CR ( $F=4.863$ ,  $g.l= 1$ ,  $p=0.0337$ ), al igual que la longitud capilar promedio de los poros del suelo ( $F=7.031$ ,  $g.l= 1$ ,  $p=0.0117$ ) (Tabla 1). También se encontró que no hubo un efecto de la distancia al tronco sobre  $K_s$  o  $\alpha$ ,  $F=0.705$ ,  $g.l= 2$ ,  $p=0.505$ ;  $F=0.985$ ,  $g.l= 2$ ,  $p=0.39$  respectivamente.

**Tabla 1.** Descriptores de la conductividad hidráulica saturada (mm/h) y alfa (-m) de la ecuación de Gardner en la cárcava activa y revegetada. CA= cárcava activa, CR= cárcava revegetada, Ks= Conductividad hidráulica saturada,  $\alpha$ = Longitud capilar de los poros del suelo, N= tamaño de muestra (ensayos de infiltración).

Tipo de cárcava	Ks media (mm.h) y DS (N)	$\alpha$ media (m <sup>-1</sup> ) $\pm$ DS (N)	Radios de copa de árbol	Ks media (mm.h) $\pm$ DS (N)	$\alpha$ media (m <sup>-1</sup> ) $\pm$ DS (N)
CA	6.51 $\pm$ 3.67 (15)	2.37 $\pm$ 1.75 (15)	-	6.51 $\pm$ 3.67 (15)	1.18 $\pm$ 0.48 (15)
CR	4.04 $\pm$ 3.39 (24)	1.18 $\pm$ 0.48 (24)	0	3.16 $\pm$ 2.71 (8)	2.15 $\pm$ 1.56 (8)
			0.5	3.79 $\pm$ 3.34 (8)	1.90 $\pm$ 1.21(8)
			1.25	5.16 $\pm$ 4.11 (8)	3.07 $\pm$ 2.29 (8)

**Tabla 2.** Conductividad hidráulica insaturada en la CA y la CR para cada tamaño de poro bajo las tensiones aplicadas.

Tipo de cárcava	Radios de copa de árbol	Diám. de poro (mm)	Núm, poros/m <sup>2</sup>	% flujo
CA		+1	21	1.7
		0.3-1	5,802	3.8
		0.3-0.01	9,434,012	80.3
		- 0.01	-----	14.2
CR	0 radios	+1	19	3.1
		0.3-1	5,132	6.9
		0.3-0.01	5,172,342	85.8
		-0.01	-----	4.2
	0.5 radios	+1	20	2.8
		0.3-1	5,489	6.1
		0.3-0.01	6,155,261	85
		-0.01	-----	6.1
	1.25 radios	+1	43	4.4
		0.3-1	11,613	9.6
		0.3-0.01	8,357,532	84.9
		-0.01	-----	1.1

Los datos de granulometría confirman que en ambos ambientes se muestreó sobre un horizonte arcilloso que corresponde al horizonte Bt descrito para la zona y mencionado por autores previos (Gómez-Tagle, 2008; Pujolar et al., 2011). Contrario a lo esperado, los resultados sugieren que no existe una diferenciación en la partición del flujo de infiltración entre los dos ambientes estudiados. La Tabla 2 muestra como para ambos sitios, la mayor proporción de flujo de infiltración (entre 80 y 85%) ocurrió a través de mesoporos pequeños (0.01 a 0.3 mm diam.).

La densidad aparente superficial por su parte, mediante una prueba de ANOVA mostró que no existen diferencias significativas en la CA y la CR (F=0.025, g.l= 1, p=0.876). El espesor del mantillo que solamente se pudo medir en la CR, mostró que existen diferencias estadísticas significativas con respecto a la distancia del tronco (F= 4.538, g.l= 2, p= 0.023) siendo mayor junto al tronco y menor fuera de la copa de los árboles.

Las Ks más bajas obtenidas en la cárcava revegetada pueden estar relacionados con la hidrofobicidad del suelo en la superficie detectada en este tipo de ambientes (Ramírez y Gómez-Tagle, en proceso), la existencia de poros grandes y cortos que rápidamente llegan a saturarse de agua con tensiones pequeñas (p.e -0.5 cm de agua).

Nuestros resultados sugieren la existencia de una relación entre los valores altos de espesor de la hojarasca y los valores de Ks bajos junto a los troncos que aunque no obtuvo significancia, si presentaron una tendencia.

Por otro lado la prueba de ANOVA para densidad aparente indicó que existen diferencias significativas para cada una de las distancias a los troncos de los árboles. La densidad aparente fue mayor fuera de la copa de los árboles y menor junto a los troncos.

La prueba No Paramétrica de Kruskal Wallis corroboró los mismos resultados obtenidos por los ANOVAS, es decir, solo la densidad aparente y el espesor del mantillo fueron significativamente diferentes respecto a la distancia del tronco de los árboles (Kruskal Wallis/  $\chi^2=9.155$ ,  $p= 0.01028$ ; Kruskal Wallis/  $\chi^2=7.1343$ ,  $p= 0.02824$  respectivamente).

Por su parte, el coeficientes de correlación de Spearman mostró que no existen correlaciones entre ninguna de las variables medidas en la CA. Encontramos que solamente la densidad aparente tiene correlación significativa con la Ks en la CR. Por tanto, cada una de las variables se comportan independientes unas de otras. Se puede inferir que tanto la Ks como los valores de  $\alpha$  no guardan una relación con la textura o la densidad aparente del suelo ya que todos los valores de correlación oscilan alrededor del cero (ver tabla 3).

**Tabla 3.** Coeficientes de correlación de Spearman para las propiedades hidrofísicas obtenidas en la CA y la CR. \* Indica significancia estadística al 95%.

Tipo de cárcava	Variable dependiente	Factor	Coefficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ )	Valor de p
CA	Conductividad hidráulica (mm/h)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.1392	0.6206
	Alfa (m <sup>-1</sup> )	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.4114	0.2285
	Conductividad hidráulica (mm/h)	% arena	-0.2269	0.4159
	Conductividad hidráulica (mm/h)	% limo	0.1363	0.6281
	Conductividad hidráulica (mm/h)	% arcilla	0.1829	0.514
CR	Conductividad hidráulica saturada (mm/h)	Espesor del mantillo (cm)	-0.3616	0.08244
	Alfa (m <sup>-1</sup> )	Espesor del mantillo (cm)	0.1261	0.5568
	Conductividad hidráulica (mm/h)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.5528	0.0050*
	Alfa (m <sup>-1</sup> )	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.0469	0.8275

### CONCLUSIONES

No se encontró diferencia en la textura ni en la densidad aparente entre las dos cárcavas, se infiere que en ambos sitios se muestreó el horizonte Bt argílico expuesto en superficie por procesos erosivos.

Contrario a lo esperado, la CA tiene una  $K_s$  y longitud capilar significativamente más alta que la CR y no se encontró evidencia de flujo preferencial por macroporos en la CR.

En los sitios estudiados, los mesoporos pequeños son los encargados de conducir la mayor cantidad del flujo de infiltración tanto en la CA como en la CR oscilando alrededor del 82.5 % del flujo total lo cual está estrechamente relacionado con la textura arcillosa del suelo.

Respecto a la relación entre las variables edáficas y la distancia al tronco, encontramos que no existen diferencias significativas en la  $K_s$  ni en los valores de  $\alpha$  junto al tronco de los árboles, a la mitad de la copa de los árboles y fuera de la copa de los árboles y no existe evidencia clara de que existan islas de infiltración, aunque el espesor del mantillo fue significativamente mayor junto al tronco y menor fuera de la copa de los árboles. Además la densidad aparente del suelo fue significativamente mayor fuera de la copa del árbol y menor junto al tronco del árbol.

## REFERENCIAS

- FAO. 2006 anual report, World reference base for soil resource 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Manson, R, H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1), 3-20.
- Lee, R., 1980. *Forest Hydrology*. Columbia University Press, New York, USA.
- Equihua-Zamora, M., Muñoz-Villers, L., Castillo-Campos, G., Meza-Pérez, E., Bruijnzeel, L.A., Holwerda, F., 2007. Reporte técnico final: Medición y análisis de los efectos de distintos tipos de cubierta forestal sobre los procesos climáticos, hidrológicos y erosivos en Veracruz, México. INE/A1-064/2007.
- Muñoz-Villers, L.E., Holwerda, F., Gómez-Cárdenas, M., Equihua, M., Asbjornsen, H., Bruijnzeel, L.A., Marín-Castro, B.E., Tobón, C., 2011. Water balances of old-growth and regenerating montane cloud forests in central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology* In Press.
- Muñoz-Villers, L., 2008. Efecto del cambio en el uso de suelo sobre la dinámica hidrológica y calidad de agua en el trópico húmedo del centro de Veracruz, México (Ph.D).
- Kwicklis, E., Witkowski, M., Birdsell, K., Newman, B., Walther, D., 2005. Development of an Infiltration Map for the Los Alamos Area, New Mexico. *Vadose Zone J.* 4, 672–693.
- Echeverria, C., Huber, A., Taberlet, F., 2007. Comparative study of water balance components in a native forest and a meadow in southern Chile. *Bosque* 28, 271-280.
- Campos-Aranda, D. 1987. *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.
- Porta, J., Lopez-Acevedo, M., Roquero, C., 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*, 2nd ed. Mundi-Prensa, Bilbao, España.
- Reynolds, W.D., Elrick, D.E., 1991. Determination of Hydraulic Conductivity Using a Tension Infiltrometer. *Soil Sci Soc Am J* 55, 633–639.



- Logsdon, S.D., Jaynes, D.B., 1993. Methodology for Determining Hydraulic Conductivity with Tension Infiltrimeters. *Soil Sci Soc Am J* 57, 1426–1431.
- Langner, H.W., Gaber, H.M., Wraith, J.M., Huwe, B., Inskip, W.P., 1999. Preferential Flow through Intact Soil Cores: Effects of Matric Head. *Soil Sci Soc Am J* 63, 1591–1598.
- Pachepsky, Y., Rawls, W.J., 2003. Soil structure and pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science* 54, 443–451.
- Nuutinen, V., Pitkanen, J., Kuusela, E., Widbom, T., Lohilahti, H., 1998. Spatial variation of an earthworm community related to soil properties and yield in a grass-clover field. *Applied Soil Ecology* 8, 85–94.
- Luo, L., Lin, H., Halleck, P., 2008. Quantifying soil structure and preferential flow in intact soil using X-ray computer tomography. *Soil Sci Soc Am J* 72, 1058–1069.
- Cheng, J., Zhang, H., Zhang, Y., Shi, Y., He, F., Qi, S., Sun, Y., 2007. Affecting factors of preferential flow in the forest of the Three Gorges area, Yangtze River. *Front. Forest. China* 2, 436–442.
- Eguchi, S. y S. Hasegawa. 2008. Determination and characterization of preferential water flow in unsaturated subsoil of andisol. *Soil Sci Soc Am J*. 72: 320-330.
- Guan, H., Simunek, J., Newman, B.D., Wilson, J.L., 2010. Modelling investigation of water partitioning at a semiarid ponderosa pine hillslope. *Hydrol. Process.* 24, 1095-1105.
- Matula, S. 2003. The influence of tillage treatments on water infiltration into soil profile. *Plant Soil and Environment*. 49: 298-306.
- Trimble, S. W. y A. C. Mendel. 1995. The cow as a geomorphic agent: a critical review. *Geomorphology*. 13: 233-253.
- Zimmermann, B., Elsenbeer, H., Moraes, J.M.D., 2006. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: Implications for runoff generation. *Forest Ecology and Management* 222, 29–38.
- Ziegler, A. D., J. N. Negishi, R. C. Sidle, S. Noguchi y A. R. Nik. 2006. Impacts of logging disturbance on hillslope saturated hydraulic conductivity in a tropical forest in Peninsular Malaysia. *CATENA*. 67: 89-104.
- Gómez-Tagle, A. 2009. Linking hydrogeology and ecosystem services: differential controls of surface field saturated hydraulic conductivity in a volcanic setting in central México. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, (6) 2499-2536.
- Li, Y. Y. y M. A. Shao. 2006. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China. *Journal of Arid Environments*. 64: 77-96
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5. Instituto de Geografía UNAM. México, D.F.
- Detenal. 1979 A. Carta Edafológica E14A23, Morelia.
- Detenal. 1979 B. Carta Edafológica E14A33, Villa Madero.
- INEGI, 1979. Carta Edafológica E14A23, Morelia, 1st ed. INEGI, Dirección General de Geografía, Aguascalientes, Ags., México.
- Gómez-Tagle, A. C. 2008a. Variabilidad de las Propiedades Edáficas Relacionadas con la Infiltración y Conductividad Hidráulica Superficial en la Cuenca de Cuitzeo., INIRENA, Tesis Doctoral de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. México, 164 pp.
- Bigioggero, B., Corona-Chávez, P., Garduño Monroy, V.H., Carrara, E., Lanza, L. 2004. La “Piedra de Cantera” de Morelia desarrollo entre la tradición y la cultura: un acercamiento geológico y una alternativa. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. México, pp. 14–42.

Mendoza, M.E., Bocco, G., López, E., Bravo, M., 2002. Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del Lago de Cuitzeo, Michoacán. *Investigaciones Geográficas, Boletín del*

*Instituto de Geografía* 49, 98–117.

López, E., Bocco, G., Mendoza, M., Velazquez, A., Rogelio Aguirre-Rivera, J., 2006. Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems* 90, 62–78.

Gómez-Tagle Chávez A., Geissert K.D., Enriquez E. 2011. Infiltrómetro de tensión INDI-INECOL. No publicado.

Watson, K. W., and R. J. Luxmoore. 1986. Estimating Macroporosity in a Forest Watershed by use of a Tension Infiltrometer. *Soil Sci Soc Am J* 50:578-582.

DOF, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.



# LA VEGETACION RIBEREÑA DE LOS RIOS AYUQUILA-ARMERIA

Claudia ORTIZ-ARRONA<sup>A</sup>, Marta GONZALEZ DEL TANAGO<sup>B</sup>, Diego GARCÍA DE JALON<sup>B</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, CUCSUR, Universidad de Guadalajara, México.

[cortiz@cucsur.cucsur.udg.mx](mailto:cortiz@cucsur.cucsur.udg.mx),

<sup>b</sup> ETS Ingeniero de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, España.

[marta.gtanago@upm.es](mailto:marta.gtanago@upm.es), [diego.gjalon@upm.es](mailto:diego.gjalon@upm.es)

## RESUMEN

Las riberas, a través de su vegetación, tienen un gran protagonismo en el paisaje fluvial porque configuran la parte terrestre del corredor fluvial y por la importancia en el mantenimiento de la biodiversidad regional y en la generación de servicios ambientales. Esta investigación se desarrolla en la cuenca del río Ayuquila-Armería, una región de gran interés hidrológico y de conservación de la biodiversidad. Los objetivos del estudio son caracterizar las formaciones de vegetación ribereña en el río Ayuquila-Armería y evaluar el estado de integridad ecológica de sus riberas, a través del análisis de su composición y estructura y la aplicación del índice de calidad de las riberas (RQI), respectivamente. El RQI evalúa siete atributos de la estructura y funcionamiento del sistema fluvial. El muestreo se realizó en 70 tramos fluviales de 500 m. El análisis de clasificación de los tramos fluviales con base en la vegetación, permitió distinguir 9 grupos florísticos, denominados de acuerdo a la especie con mayor valor de importancia relativa, con una dominancia del género *Salix* (G6 y G8- *Salix humboldtiana*; G7- *S. humboldtiana* y *Phitecellobium dulce* y G9- *S. bonplandiana* y *S. taxifolia*). El 49% de los tramos analizados presenta un estado de sus riberas moderado (valor de RQI= 70-99) y el 25% se encuentra en estado pobre (valor RQI= 40-69). Los atributos más afectados son la anchura del espacio ripario, la continuidad longitudinal y la regeneración natural, debido al impacto del pastoreo de ganado, uso agrícola y regulación hidrológica, principalmente. La discusión de los resultados se enfoca hacia las estrategias de manejo de las riberas y vegetación ribereña asociada.

Palabras clave: vegetación ribereña, estado hidrogeomorfológico de las riberas, RQI, tipología de ríos, acciones de manejo, río Ayuquila-Armería,

## 1 INTRODUCCIÓN

El estudio de los sistemas ribereños es de gran interés desde el punto de vista científico, ya que éstos soportan la dimensión lateral de los ecosistemas fluviales y la integración de múltiples interacciones entre los componentes terrestres y acuáticos del paisaje, crucial para la preservación de la biodiversidad del río (Ward *et al.* 2002; Naiman *et al.* 2005; Corenblit *et al.* 2007). Además, los sistemas ribereños también representan un componente vital en la gestión de los ríos, asumiendo que su estado afecta a muchos servicios ambientales que los ríos proveen.

La vegetación riparia, tienen un gran protagonismo en el paisaje fluvial porque representa una zona de transición y conexión entre los sistemas terrestres y acuáticos (Tabacchi *et al.* 1998; Malanson 1993; Naiman *et al.* 2005; Ward *et al.* 2002). Debido a la proximidad y la interacción que la vegetación mantiene con las corrientes de agua, forma bandas de comunidades vegetales únicas, adaptadas a las inundaciones periódicas. Es así que, la vegetación riparia configura la parte terrestre del corredor fluvial y desempeña diversas funciones ecosistémicas importantes, entre los que destacan: i) protección de cuencas, captación, transporte y saneamiento

de aguas, ii) cohesión y estabilización del suelo de márgenes y orillas, manteniendo el equilibrio en los procesos de erosión, transporte, depósito y sedimentación en los hábitats fluviales, iii) hábitat y alimento para la fauna y son importantes corredores migratorios para numerosas especies de animales y vegetales, iv) mejora del paisaje y su valor recreativo, estético y cultural para la sociedad (Naiman y Décamps 1997, Ceccon 2003, Corenblit *et al.* 2007).

Se estima que el 45% de los ríos en México presentan alteraciones (Garrido *et al.* 2011), debido a presiones agrícolas y urbanización, principalmente. Entre los principales impactos que generan estas presiones se encuentran la contaminación de ríos y la pérdida de los corredores de vegetación ribereña (Cotler y Caire 2008), como resultado de las alteraciones hidrológicas y morfológicas de los cauces y sus riberas, que promueven la pérdida de especies nativas y la invasión de especies exóticas de difícil manejo. Por lo que, es muy difícil encontrar comunidades de vegetación ribereña en buen estado de conservación (SNIF-CONAFOR, 2007). No obstante la importancia de la vegetación ribereña en el mantenimiento de la biodiversidad y en la generación de servicios ambientales de gran interés para la sociedad, estas comunidades vegetales han sido relativamente poco estudiadas en México desde un enfoque ecológico que genera información para un mejor entendimiento de su funcionamiento y dinámica (Treviño *et al.* 2001; Camacho-Rico *et al.* 2006 ; Ortiz *et al.* 2004; Allen *et al.* 2010), más escasos aún son los estudios sobre la valoración de la integridad ecológica de los ríos y sus riberas basado en las características de la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas (Rodríguez *et al.* 2012)

Los ecosistemas fluviales de la cuenca del río Ayuquila- Armería están sometidas a presiones de tipo hidrológico y transformaciones morfológicas de sus cauces y zonas de inundación, además de la contaminación del río. La vegetación ribereña se ha reducido y fragmentado debido a la deforestación de las riberas y su transformación para la agricultura y pastoreo de ganado, además de la alteración de los flujos hidrológicos naturales del río por el almacenamiento, canalización y derivación del agua para riego agrícola (Ortiz Arrona *et al.* 2008; Martínez *et al.* 2000). Aunado a esto, la contaminación química del agua por el vertido directo de las aguas residuales de las poblaciones urbanas y rurales que habitan la cuenca directas al río sin tratamiento previo, y de parte de las industrias con un tratamiento muy limitado. En este contexto, los objetivos que se han planteado en este estudio son describir y caracterizar la composición y estructura de la vegetación leñosa asociada al sistema fluvial de la cuenca del río Ayuquila-Armería, así como evaluar el estado de integridad ecológica de las riberas. Este estudio forma parte de un proyecto más amplio que pretende integrar los resultados de la caracterización de las formaciones de vegetación ribereñas y evaluación de la integridad ecológica del río y su ribera, partiendo del reconocimiento de los tipos fluviales presentes en la cuenca en base a una clasificación jerárquica del sistema fluvial con criterios hidrogeomorfológicos y enfocarlos hacia propuestas de conservación y restauración de los segmentos fluviales según su tipo.

## 2 ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Ayuquila-Armería forma parte de los estados de Jalisco y Colima, en el occidente de México. Pertenece a la región hidrológica administrativa VIII Lerma- Santiago-Pacífico y Región Hidrológica 16 Armería-Coahuayana (INEGI-INE-CONAGUA 2007). Tiene una extensión de 9,867 km<sup>2</sup>, y recorre una distancia de 240 Km, desde la parte más alta (3,290 msnm) hasta su desembocadura en el estero Boca de Pascuales, en el Océano Pacífico. Está conformada por la unión de los ríos Ayuquila, Tuxcacuesco y Armería, que conforman las principales corrientes en la cuenca, en donde se ubican tres grandes presas: “Tacotán” y “Trigomil” y “Las Piedras.

Está ubicada en la confluencia de las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur (INEGI) y se caracteriza por una gran heterogeneidad litológica y geológica, además del amplio rango altitudinal

(de más de 4000 msnm) y el relieve accidentado del terreno. El clima presenta cambios estacionales marcados, con una definición clara entre la estación lluviosa en verano (entre junio y septiembre) y la estación seca el resto del año. La precipitación promedio anual es de 1,000 mm y la temperatura promedio es de 22.1 °C. Los tipos de vegetación predominantes en la cuenca son el bosque tropical caducifolio y subcaducifolio que se distribuyen en la porción baja y media de la cuenca, desde los 400 hasta los 1700m de altitud. Otros tipos de vegetación presentes en la cuenca son los bosques de *Pinus*, *Quercus*, bosque mesófilo de montaña y bosques de *Abies* desde los 800 a los 2600 m (Vázquez et al. 1995). En la cuenca se encuentran importantes áreas de conservación, entre las que destaca la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (CONABIO 1999, DRBSM, 2001).

Desde el punto de vista socioeconómico, la cuenca abarca 29 municipios, 21 pertenecientes al estado de Jalisco y 8 a Colima. El 79% de su población vive en zonas urbanas y el 21% en zonas rurales (Gerritsen et al. 2006). Las actividades económicas más importantes son la agricultura comercial y de subsistencia, la industria azucarera, pesca, minería y actividad forestal. El uso agrícola ocupa 32% de su superficie, entre los cultivos principales están el melón, el jitomate, el agave y el chile, pero el principal cultivo es la caña de azúcar por sus rendimientos económicos (Cotler 2008).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MUESTREOS DE CAMPO

Los muestreos de vegetación ribereña y la valoración de la calidad ecológica de las riberas se realizaron en un total de 71 tramos fluviales del río Ayuquila-Armería y principales corrientes tributarias, teniendo en cuenta la caracterización y tipologías de los ríos en la cuenca, a partir de la cual se distinguen 13 tipos de segmentos fluviales en base a parámetros fisiográficos (Ortiz-Arrona et al. 2011). La longitud del tramo de muestreo fue de 500 m, a lo largo de la franja ó banda de vegetación presente en las orillas del cauce y llanuras de inundación. La anchura de la banda de vegetación es variable, según el tipo de valle. La selección de los tramos fluviales de muestreo tuvo como criterio la elección de los tramos en mejor estado de conservación (*i.e.* alejadas de asentamientos humanos, presas, carreteras, zonas de extracción de gravas y arenas) y con cierta accesibilidad y seguridad de acceso al sitio.

##### 3.1.2 Formaciones de vegetación ribereña

La vegetación ribereña se caracterizó en base a la composición y estructura del componente leñoso (árboles y arbustos). En cada tramo se identificó a las especies leñosas presentes y se realizó una estimación visual del porcentaje de la abundancia- cobertura de las diferentes especies, distinguiendo cuatro clases: 0 (ausente), 1 (< 25%), 2 (25% - 50%), 3 (50% - 75%) y 4 (>75%). A esta misma escala de tramo fluvial se midieron los siguientes atributos: a) altitud (msnm), b) tipo de valle: no confinado (No-C), parcialmente confinado (P-C) y confinado (C) y c) tipo de sustrato dominante, d) anchura del espacio ocupado por la vegetación ribereña en ambos márgenes (m), e) la altura dominante (m) y f) el tipo de vegetación del entorno a la ribera.

##### 3.1.3 Índice de calidad de las riberas

La aplicación del *índice de calidad ecológica de las riberas (RQI)* se realizó en base al protocolo descrito en González del Tánago *et al.* (2008) y González del Tánago y García de Jalón (2011). Este índice considera siete atributos que evalúan la estructura y funcionamiento dinámico de las riberas, y que son de fácil reconocimiento visual: 1) Dimensiones en anchura del espacio ripario con vegetación asociada al río, 2) Continuidad longitudinal, cobertura y patrón de distribución del corredor ripario (vegetación leñosa), 3) Composición y

estructura de la vegetación riparia, 4) Diversidad de edades y regeneración natural de especies leñosas, 5) Condición de las orillas; 6) Conectividad transversal del cauce con sus riberas y 7) Calidad del substrato y conectividad vertical. Cada atributo se valoró de forma independiente y en el caso de los primeros tres se evalúan el margen derecho e izquierdo de forma separada. La valoración del estado de las riberas se obtiene sumando los valores asignados a cada atributo, en seis clases: 150-130 (Muy bueno), 129-100 (Bueno), 99-70 (Moderada), 69-40 (Pobre), 38-10 (Malo) y <10 (Muy malo).

### 3.2 ANALISIS DE DATOS

Para cada tramo de muestreo se estimó la riqueza de especies ( $S$ = número de especies) y la diversidad alfa se calculó utilizando el índice de diversidad de Shannon-Weaver y equitatividad de Pielou, mediante el programa PC-ORD, versión 5.10 (Mc Cune y Grace 2002). Para entender la gran variabilidad florística de los tramos estudiados se buscó establecer agrupaciones florísticas en base al método de clasificación jerárquica denominado Beta flexible con un valor de  $\beta = -0.25$ , y la medida de distancia de Sorensen (Bray-Curtis) ya que conforme  $\beta$  se vuelve negativo, el método incrementa los espacios y los elementos se agrupan de manera más intensa (McCune y Grace 2002). Al igual que en el análisis anterior, se incluyó a todas las especies y tramos de muestreo y se analizó mediante el programa PC-ORD, versión 5.10 (Mc Cune y Grace 2002).

Los valores obtenidos para cada uno de los siete atributos del RQI se analizan en conjunto para la totalidad de los tramos de muestreo. Se analizó la posible correlación de los valores del RQI con respecto a la altitud.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. FORMACIONES DE VEGETACION RIBEREÑA

#### 4.1.1 Composición florística, estructura y diversidad de especies

Se registraron un total de 102 especies leñosas, pertenecientes a 92 géneros y 45 familias. La familia mejor representada es Leguminosae con 15 géneros y 24 especies (23.5%). Del total de las especies ribereñas, 17 especies son características del bosque ribereño ó de galería (BG) como: *Salix humboldtiana*, *S. bondplandiana*, *S. taxifolia*, *Astianthus viminalis*, *Alnus jorullensis*, *Fraxinus uhdei*, *Inga vera*, las especies del género *Ficus*. Otro grupo de 81 especies son consideradas inducidas, es decir, son especies tolerantes a inundaciones temporales del río, pero reconocidas como elementos característicos del bosque tropical caducifolio (BTC) y bosque tropical subcaducifolio (BTSC) que forman comunidades de vegetación en las riberas del río y frecuentemente sobre las laderas y los acantilados en la región. Algunas de la especies predominantes son *Acacia farnesiana*, *Ficus maxima*, *Guazuma ulmifolia* y *Enterolobium cyclocarpum*. La lista completa de especies se encuentra en el Apéndice 1. Se registro cinco especies con estatus de protección especial, de acuerdo a la UICN (1995) y la NOM-059-ECOL-2010: 1) En peligro: *Sideroxylon cartilagineum*, 2) Amenazadas: *Guaiacum coulteri* y *Sideroxylon capiri* subsp. *tempisque* y 3) Protección especial: *Enterolobium cyclocarpum* y *Croton niveus*.

La riqueza de especies ( $S$ ) y el índice de diversidad Shannon-Wiener ( $H'$ ) por segmentos es variable. El promedio del número de especies por segmento de muestreo fue de  $8.6 \pm 4.57$ . El valor promedio del índice de diversidad Shannon-Wiener fue de  $1.91 \pm 0.52$  y el del índice de equitatividad fue de 0.94. Las especies se ubican en un gradiente altitudinal que va de 20 a 1600 msnm. En general, se distinguen tres grupos, en donde un primer grupo de especies se caracteriza por presentar una amplia distribución altitudinal (Tabla 1).

De las 102 especies ribereñas, solo *S. humboldtiana* y *Phitecellobium dulce* mostraron frecuencias arriba del 50%, así como los valores de importancia relativos más altos. Un segundo grupo de ocho especies mostraron frecuencias entre el 25-50%, entre las que se encuentra *E. cyclocarpum*. Sin embargo, el 55% de las especies fueron poco frecuentes, estando presentes en menos del 5% de los segmentos de muestreo y con los valores de importancia relativa más bajos (Tabla 2). *C. niveus*, *S. capiri* subsp. *tempisque* y *S. cartilagineum* se ubican en este último grupo.

**Tabla 1.** Distribución altitudinal de las especies ribereñas de mayor índice de valor de importancia (VIR). Los símbolos representan el valor de la abundancia promedio de la especie en las clases altitudinales correspondientes: > 75% (++++), 50-75% (+++), 25-50% (++) , < 25% (+).

Espece	< 200	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200	1200-1400	1400-1600
<i>S. humboldtiana</i>	++++	++++	++++	++++	+++	+++	++++	++++
<i>P.dulce</i>	+++	+++	++	++	+	++	++	++
<i>A.viminalis</i>	+	++	++	+++	+++	++	++	
<i>S. taxifolia</i>		++++	+	+++	++++	++	++	++
<i>B. salicifolia</i>	+	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>H. salicifolia</i>	++		++	++	+++	+++	++	+++
<i>A.farnesiana</i>	+++		++	++	++	++	++	
<i>E. cyclocarpum</i>		+		+	++	++	++	+
<i>F. máxima</i>	+	+		+	+	+	++	++
<i>G.ulmifolia</i>	+			++	++	++	++	++
<i>S. bonplandiana</i>		++++		++++	++	++++	+++	+++
<i>F insipida</i>	++		+	+	+++	+++	++	+++
<i>H. terebenthinaceus</i>	+++		++++	+++	++++	+	+	++

#### 4.1.2. Agrupaciones de vegetación ribereña

El dendrograma obtenido del análisis de clasificación de los tramos fluviales con base en la abundancia de la vegetación leñosa, permitió distinguir a una distancia relativa de 60% como umbral de corte a 9 grupos de tramos fluviales. Cada grupo fue denominado de acuerdo a la especie con mayor valor de importancia relativa (VIR) de ese grupo (Tabla 2). Estos grupos fueron: G1- *Guazuma ulmifolia*, G2 - *Ficus insipida*; G3- *Asthanthus viminalis* y *Heliocarpus terebinthinaceus*; G4- *Tabebuia donnell-smithii*, G5-*Celtis iguanea* y *Baccharis salicifolia*; G6- *Salix humboldtiana*; G7- *S. humboldtiana* y *Phitecellobium dulce*, G8- *S. humboldtiana* y *B. salicifolia* y G9- *S. taxifolia* y *S. bonplandiana*.



**Tabla 2.** Valores de importancia relativa (VIR) de las especies leñosas características de los grupos florísticos.

Número de grupo	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	
Número total de segmentos	5	6	4	3	5	5	14	18	10	
Número total de especies	29	44	25	26	45	15	39	34	25	
No.	Especies dominantes	VIR								
1	<i>Acacia farnesiana</i>	25.0	20.8	50.0	*	50.8	*	*	59.4	55.0
2	<i>Acacia macilenta</i>	*	20.8	50.0	*	59.1	*	*	*	*
3	<i>Albizia tomentosa</i>	*	47.9	50.0	*	22.5	*	*	*	17.5
4	<i>Asthanthus viminalis</i>	*	54.2	<b>93.7</b>	*	47.5	*	67.8	56.7	22.5
5	<i>Baccharis salicifolia</i>	*	48.3	45.0	*	70.0	*	26.0	<b>72.3</b>	15.5
6	<i>Casearia corymbosa</i>	*	18.3	*	54.2	47.5	*	13.6	25.5	42.5
7	<i>Celtis iguanea</i>	*	*	43.7	*	<b>71.2</b>	47.5	*	*	17.5
8	<i>Coursetia glandulosa</i>	*	20.8	50.0	45.8	22.5	*	*	*	*
9	<i>Croton sp</i>	22.5	*	*	<b>83.3</b>	*	*	*	*	*
10	<i>Enterolobium cyclocrapum</i>	35.0	66.7	25.0	29.2	22.5	42.5	27.4	36.1	*
11	<i>Ficus cotinifolia</i>	*	33.3	50.0	*	*	*	19.6	42.3	*
12	<i>Ficus insipida</i>	*	<b>86.7</b>	37.5	*	32.5	*	33.0	24.3	*
13	<i>Ficus máxima</i>	32.5	55.2	*	*	51.2	38.7	34.0	29.2	*
14	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<b>77.5</b>	55.2	*	35.4	22.5	*	19.6	23.6	24.3
15	<i>Heimia salicifolia</i>	22.5	36.6	60.8	53.3	30.0	*	24.0	60.0	*
16	<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i>	*	20.8	<b>93.7</b>	70.8	*	*	16.0	43.0	24.3
17	<i>Inga vera</i>	*	60.4	*	32.5	32.5	*	19.6	18.0	*
18	<i>Lysiloma acapulcense</i>	63.7	*	*	*	22.5	*	*	40.3	*
19	<i>Lysiloma microphyllum</i>	63.3	33.3	*	*	32.5	*	16.1	30.5	27.5
20	<i>Mimosa sp</i>	22.5	*	50.0	*	*	47.5	*	27.8	*
21	<i>Phitecellobium dulce</i>	63.3	41.7	58.3	77.0	58.7	*	<b>73.0</b>	61.1	22.5
22	<i>Phragmites australis</i>	22.5	28.3	*	66.7	45.0	*	*	*	*
23	<i>Piper sp</i>	*	*	52.5	41.7	*	*	43.6	*	*
24	<i>Prosopis laevigata</i>	*	*	56.2	*	22.5	35.0	19.6	12.3	*
25	<i>Salix bonplandiana</i>	60.0	47.9	*	*	47.5	*	*	40.3	<b>85.3</b>
26	<i>Salix taxifolia</i>	38.7	29.2	*	*	38.7	35.0	61.4	44.0	<b>86.2</b>
27	<i>Salix humboldtiana</i>	57.5	41.6	*	66.7	*	<b>90.0</b>	<b>99.1</b>	<b>94.3</b>	54.4
28	<i>Sapium pedicellatum</i>	*	*	25.0	58.3	*	*	16.1	*	*
29	<i>Senna atomaria</i>	*	20.8	*	58.3	*	*	*	15.3	*
30	<i>Stemmademia tomentosa</i>	59.2	62.5	*	*	*	*	16.0	*	*
31	<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	35.0	58.3	*	<b>79.2</b>	*	*	32.1	*	*
32	<i>Thevetia ovata</i>	35.0	58.3	*	*	*	*	*	*	*
33	<i>Vitex mollis</i>	*	52.1	*	*	20.0	*	*	18.3	*

Tomando en consideración que el rango de altitud promedio de los segmentos fluviales en la cuenca de estudio se encuentran entre 25 y 2100 m, los tramos de muestreo de vegetación riparia ubicados entre 20 y 1600 msnm, corresponden a tramos medios y bajos de los segmentos fluviales estudiados. Por lo que, no es posible detectar los cambios en la composición florística en las zonas de mayor altitud de los ríos de la cuenca.

La ubicación de la cuenca del río Ayuquila en una zona transición de dos provincias fisiográficas, le confiere mayor complejidad geológica y topográfica y favorece la mezcla de especies características del bosque tropical caducifolio y subcaducifolio en las riberas y enriquece la composición florística de la vegetación ribereña. La comparación de la composición y diversidad florística encontrada en este estudio con la de otras comunidades de vegetación riparia en México, muestra que la riqueza de especies (102 especies leñosas) es muy similar a las reportadas por Lott et al. (1987) en los arroyos de Chamela, una región más cálida en la costa de Jalisco (para donde se reportan 105 especies leñosas) tipificadas por la dominancia de *Thouinidium decandrum*. El trabajo de Lebrija-Trejos (2001) para el sureste mexicano, reporta 109 especies y Camacho-Rico et al. (2006) reporta para el río Tebembe 74 especies, una región donde los corredores ribereños están dominados por *Alnus acuminata*, *Daphnopsis salicifolia*, *Asthianthus viminalis* y *Salix humboldtiana*, entre otras. En la cuenca del río Ayuquila, hasta el momento se han registrado cerca de 126 especies leñosas ribereñas, tomando en cuenta las registradas por Santana-Michel et al. (en proceso) y las que aquí se reportan.

Los resultados obtenidos indican que en los tramos fluviales del río Ayuquila no se establece una sola comunidad ribereña, sino que en ella se pueden distinguir nueve asociaciones que difieren en composición y dominancia de especies, y cuya distribución podría estar relacionada con ciertas variables ambientales, tales como el régimen hidrológico, altitud, tipo de valle, pendiente y tamaño de cuenca vertiente, principalmente. En conjunto, las tres especies del género *Salix*: *S. humboldtiana*, *S. bonplandiana* y *S. taxifolia*, son elementos dominantes en el 67% de los tramos fluviales analizados y definen a cuatro grupos florísticos (G6-G9), que incluyen a estos tramos fluviales con régimen hidrológico permanente. En México, *S. bonplandiana* (sauz) y *S. humboldtiana* (sauce) se distribuyen prácticamente en los bosques ribereños de todo el país y frecuentemente se asocian en elevaciones superiores a 825 msnm (Ayala y Solano 2011), ya que *S. humboldtiana* se establece desde el nivel del mar hasta 2 500 m, mientras que *S. bonplandiana* es menos frecuente en altitudes por debajo de los 800 m. Estas especies llegan a formar densos corredores riparios en zonas de terrenos aluviales sujetos a inundaciones periódicas de las avenidas de los ríos.

En los tramos fluviales donde *S. humboldtiana* define a la comunidad riparia (grupos G6, G7 y G8) están asociadas *A. viminalis* y *P. dulce* y otros elementos arbustivos. Mientras que, en los tramos dominados por *S. bonplandiana*, el arbusto *S. taxifolia* tiene un rol como especie codominante. De estos grupos, el G7 presenta la más baja riqueza de especies y agrupa principalmente a tramos del cauce principal del río Ayuquila, con presiones de la agricultura que limitan la dimensión del espacio ripario e impactos por la alteración hidrológica por el desvío del agua para el riego agrícola principalmente. Si bien, los tramos fluviales agrupados en G1 comparten características hidrogeomorfológicas similares con los tramos fluviales del grupo G9; tales como altitudes elevadas, regímenes permanentes, cuencas pequeñas, valles parcialmente confinados y geologías volcánicas, el grupo G1 está caracterizado por la especie *Guazuma ulmifolia*, asociada de forma importante a otras especies leguminosas, y con una menor dominancia a *S. bonplandiana*, *S. humboldtiana*. Su dominancia en estos tramos fluviales puede estar relacionado con el nivel de perturbación humana en la zona, relacionado con una reducción en anchura del espacio ripario y fragmentación de la conectividad longitudinal.

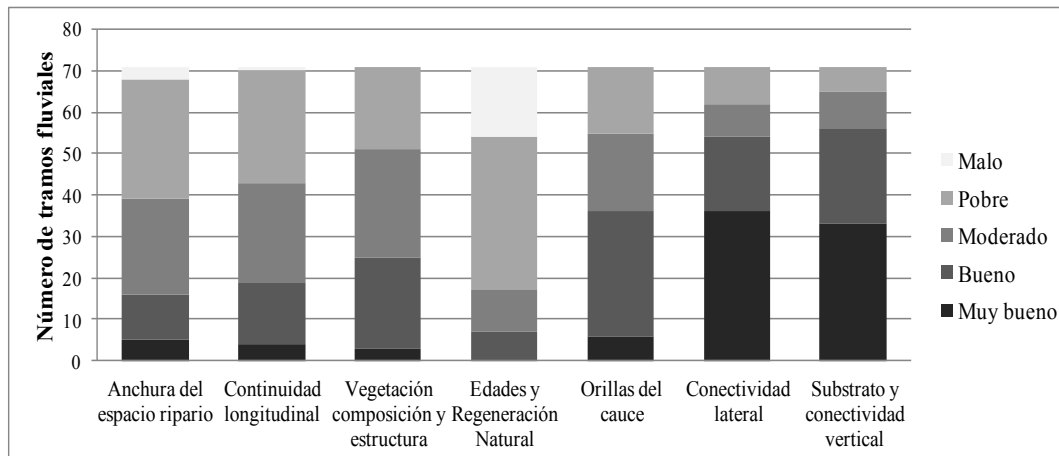
## 4.2. VALORACION DEL ESTADO DE LAS RIBERAS

Los valores obtenidos de la aplicación del RQI para los 71 tramos fluviales de muestreo, indican que solo 3 (4%) tramos fluviales presentan un estado muy bueno (RQI: 130-150), 16 (23%) un estado bueno (RQI: 100-129), 35 (49%) muestra un estado moderado ó regular (RQI: 70-99) y las que presentan un estado pobre (RQI: 40-69) son 17 (constituyen el 24%) (Fig. 1). No se obtuvo valoraciones de un estado malo ó muy malo, esto

podría deberse a la exclusión, a priori, de sitios de muestreo donde la degradación del sistema fluvial era muy evidente.

La distribución espacial de los valores del índice no muestra una clara diferenciación de la disminución ó aumento de la calidad de las riberas desde la cabecera a la desembocadura entre altitud y valor del RQI ( $r=0.174$ ,  $p=0.147$ ), lo que revela una distribución relativamente uniforme de los tramos de muestreo en todos los rangos de calidad del RQI, es decir, la degradación afecta tanto a los tramos de cabecera como a los tramos medios y bajos de los ríos estudiados.

En la fig. 2 se pueden observar los estados de las riberas de acuerdo a los atributos del RQI. Los atributos de la estructura: anchura del espacio ripario, continuidad longitudinal y, composición y estructura de la vegetación presentan valoraciones donde predominan los estados moderado y pobre en proporciones muy similares, menos de 25 segmentos fluviales presentan éstos atributos en buen ó muy buen estado de conservación. El río Armería y sus tributarios (zona baja de la cuenca) presenta proporcionalmente el mayor número de tramos fluviales con una continuidad longitudinal en estado pobre y no presenta ningún tramo en muy buen estado en composición y estructura de la vegetación.



**Figura 3.** Estado de las riberas de acuerdo a los atributos del RQI en los 71 tramos fluviales del río Ayuquila-Armería.

De los atributos funcionales, la diversidad de edades y regeneración natural de especies leñosas es uno de los atributos fuertemente afectados, con una alta proporción de tramos fluviales (76%) con valores que corresponden a un estado pobre y malo. Es decir, que la estructura de vegetación ribereña se limita a un dosel dominado por individuos adultos y la carencia de individuos juveniles en el subdosel, mientras que la regeneración se restringe de una a dos especies presentes en general en la primera banda de vegetación más próxima al cauce. Las especies características en la regeneración son *Salix humboldtiana* y *S. taxifolia*.

En las condiciones de orilla se encuentran todas las condiciones, mostrando un estado bueno a muy bueno en el 50% de los tramos fluviales. Los tramos fluviales con orillas más afectadas se encuentran en el río Armería. Los atributos que evalúan la conectividad lateral del cauce con sus riberas y la calidad del sustrato y conectividad vertical obtuvieron los valores más altos con buen y muy estado de sus riberas en poco más del 75% de los tramos fluviales. Pero, los tramos del río Ayuquila y río Tuxcacuesco que conforman la parte alta y media de la cuenca, presentan una mayor proporción de tramos fluviales con muy buen estado en comparación con el río Armería.

En este trabajo, la aplicación del RQI para valorar el estado de las riberas de los ríos de la cuenca Ayuquila-Armería se realizó en un conjunto de tramos de muestreo que representa la variedad de tipos de ríos presentes en la cuenca, lo que representa una diferencia con otros estudios realizados en México (Rodríguez et al. 2011). En los tramos fluviales evaluados en la cuenca se observan diversos efectos de actividades humanas tales como deforestación de las riberas, pastoreo de ganado, agricultura y alteración del régimen hidrológico y asentamientos humanos que provocan una fuerte degradación de los ecosistemas ribereños y que determinan las bajas puntuaciones de la mayoría de los atributos del RQI. Otros autores han documentado que los sitios sometidos a pastoreo presentan baja calidad de las riberas y pérdida de la vegetación ribereña, que significa pérdida de protección, sombreo y aporte de materia orgánica gruesa (Kutschker et al. 2009).

## 5 CONCLUSIONES

En los tramos fluviales del río Ayuquila-Armería se pueden distinguir nueve asociaciones que difieren en composición y dominancia de especies en relación con características hidrogeomorfológicas que distinguen a los diferentes tramos de estudio. En conjunto, las tres especies del género *Salix*: *S. humboldtiana*, *S. bonplandiana* y *S. taxifolia*, son elementos dominantes en el 67% de los tramos fluviales analizados.

Los resultados aportan una primera valoración del estado de las riberas en la cuenca y un diagnóstico de los principales problemas que afectan a las riberas, con el fin de facilitar el diseño de estrategias para su restauración y conservación. El índice RQI resultó ser una herramienta de rápida aplicación que complementa de manera importante el estudio de composición y estructura de la vegetación ribereña, sin embargo, es importante contar con tramos de referencia en buen estado de conservación, que en muchos casos es difícil obtenerlas por el grado de perturbación de las zonas ribereñas. En este estudio, se consideran tramos de referencia aquellos que obtuvieron el mayor valor de RQI. La mayoría de los tramos ribereños presentan un estado pobre de integridad ecológica, con dos o más atributos fuertemente afectados por las presiones antrópicas, principalmente regulación del flujo hidrológico, agricultura y pastoreo de ganado.

Los resultados de la evaluación de la integridad ecológica del río y su ribera y la caracterización de las formaciones de vegetación en la cuenca, se pretende enfocar hacia estrategias de manejo y conservación de los segmentos fluviales según su tipo, e identificar tramos ribereños en buen estado ecológico y aquellos en un estado vulnerable.

## APENDICE

**Apendice 1.** Lista de especies leñosas ribereñas (familia y especie) de la cuenca del río Ayuquila-Armería. <sup>1</sup> Especie frutal, <sup>2</sup> especie exótica, \* especie bajo alguna categoría de protección.

### **Amaranthaceae**

*Celosia orcutii* Greenm.

### **Anacardiaceae**

*Cyrtocarpa procera* H.B.K.

*Mangifera indica* L. <sup>1</sup>

*Pistacia mexicana* H.B.K.

### **Anonaceae**

*Annona* sp

### **Apocynaceae**

*Stemmadenia tomentosa* Greenm. var. palmeri

*Thevetia ovata* (Cav.) A. DC.

### **Asteraceae**

*Pluchea symphytifolia* (Mill.) Gillis

### **Berberaceae**

*Vitex mollis* H. B. K. forma iltisii Moldenke

### **Betulaceae**

*Alnus jorullensis* H.B.K.

### **Bignoniaceae**

*Asthianthus viminalis* (H. B. K.) Baill.

*Tabebuia donnell-smithii* Rose

*Tabebuia rosae* (Bertol.) DC.

### **Bombacaceae**

*Ceiba pentandra* (L.) Gaerth

### **Burseraceae**

*Bursera fagaroides* (H.B.K.)Engl.

*Bursera grandifolia* (Schlecht) Eng.

*Bursera kerberi* Engl.

### **Cactaceae**

*Steneocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum

### **Capparaceae**

*Crataeva palmeri* Rose

### **Chloranthaceae**

*Hedyosmum mexicanum* Cordemoy.

### **Compositae**

*Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers.

### **Elaeocarpaceae**

*Muntingia calabura* L.

### **Euphorbiaceae**

*Croton niveus* Jacq.\*

*Croton* sp

*Sapium pedicellatum* Huber

### **Fagaceae**

*Quercus castanea* Néé

### **Flacourtiaceae**

*Casearia arguta* H. B. K.

*Casearia corymbosa* Kunth

*Xylosma velutinum* (Tulasne) Triana & Planch.

### **Graminea**

*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. <sup>2</sup>

### **Juglandaceae**

*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch

### **Labiatae**

*Hyptis albida* H. B. K.

### **Lauracea**

*Persea americana* Mill. <sup>1</sup>

### **Leguminosae**

*Acacia cochliacantha* Humb. & Bonpl. ex Willd.

*Acacia farnesiana* (L.) Willd.

*Acacia macillenta* Rose

*Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd.

*Acacia pennatula* (Schlecht. & Cham.) Beth.

*Aeonandra racemosa* (DC.) Standl.

*Albizia occidentalis* Brandegee

*Albizia tomentosa* (Micheli) Standl.

*Caesalpinia caladenia* Standl.

*Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw.

*Calliandra caeciliae* Harms

*Calliandra* sp

*Coursetia alandulosa* A. Grav

*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.

*Ervthrina lanata* Rose subsp. *occidentalis* (Standl.)

*Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg.

*Inga vera* Wild.

*Lvsiloma acapulcense* (Kunth) Benth.

*Lvsiloma microphyllum* Benth.

*Mimosa* sp

*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth.

*Pithecellobium lanceolatum* (Willd.) Benth.

*Prosopis laevigata* (Willd.) M. C. Johnst.

*Senna atomaria* (L.) Irwin & Barneby

### **Lythraceae**

*Heimia salicifolia* Link

### **Malvaceae**

*Malpighia ovata* Rose

### **Meliaceae**

*Trichilia americana* (Sessé & Moc.) Pennington

### **Moraceae**

*Ficus velutina* Homb. & Bonpl. Ex Willd.

*Ficus cotinifolia* H. B. K.

*Ficus crocata* (Mia.) Mia.

*Ficus aoldmanii* Standl.

*Ficus insipida* Willd.

*Ficus maxima* Mill

*Ficus pertusa* L. f.

*Ficus petiolaris* Kunth

*Ficus piara*

*Ficus prinalei* S. Watson

### **Mvrtaceae**

*Psidium guajava* L. <sup>1</sup>

### **Nictaginaceae**

*Pisonia aculeata* L. var. *aculeata*

### **Oliaceae**

*Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh.

### **Papaveraceae**

*Bocconia arborea* S. Watson

### **Piperaceae**

*Piper* sp

### **Rhamnaceae**

*Ziziphus mexicana* Rose

### **Rubiaceae**

*Randia tetraacantha* (Cav.) DC.

### **Rutaceae**

*Casimiroa edulis* Llave & Lex.

*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle <sup>1</sup>

*Zanthoxylum mollis* (*mollissimum*) (Engler) P.

*Zanthoxylum faaara* (L.) C. Sargent

### **Salicaceae**

*Salix bonplandiana* H.B.K.

*Salix humboldtiana* Willd.

*Salix taxifolia* Kunth

### **Sapindaceae**

*Thouinia acuminata* S. Watson

*Thouinia serrata* Radlk.

### **Sapotaceae**

*Manilkara zapota* (L.) Roven.  
*Sideroxylum capiri* subsp. *tempisque* (A. DC.)  
*Sideroxylum cartilagineum* (Cronquist) T.D. Penn\*  
**Simaroubaceae**  
*Recchia mexicana* Moc. & Sessé ex DC.  
**Solanaceae**  
*Cestrum lanatum* M. Martens Galeotti  
**Sterculiaceae**  
*Guazuma ulmifolia* Lam.  
*Phisodum adenoides* (Goldb.) Frvx.  
**Tiliaceae**  
*Heliocarpus terebinthinaceus* (DC.) Hochr.  
**Ulmaceae**  
*Aphananthe monoica* (Hemsl.) Lerov

*Celtis caudata* Planch.  
*Celtis iauanaea* (Jaca.) Sarg.  
**Urticaceae**  
*Pouzolzia* sp  
*Urera caracasana* (Jaca.) Griseb.  
**Verbenaceae**  
*Cvtharexylum* sp  
**Zygophyllaceae**  
*Guaicum coulteri* A. Gray\*

### AGRADECIMIENTOS

La primera autora desea agradecer al programa de becas PROMEP- Universidad de Guadalajara por la Beca otorgada. Al Programa AECID 2008-2010 y a la Red SERELAREFA 2010-2013.



# HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS LOCALIDADES. CASO DE LA CUENCA DEL LAGO DE PÁTZCUARO

Juan Gabriel GARCIA MALDONADO<sup>a</sup>, Indira Yarely LÓPEZ CORTÉS<sup>b</sup>, Carlos Erasto GONZÁLEZ AGUIRRE<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Mor., México, e-mail: [gabriel\\_garcia@tlaloc.imta.mx](mailto:gabriel_garcia@tlaloc.imta.mx),

<sup>b</sup> Universidad de Guanajuato, Lascurain de Retana No. 5, Col. Centro, C.P. 36000, Guanajuato, Gto., México

<sup>c</sup> Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas del Estado de Michoacán, Santos Degollado No. 723, Esq. Blvd. Arriaga Rivera, Col. Nueva Chapultepec Sur, C.P. 58290, Morelia, Mich., México

## RESUMEN

En el presente trabajo, se monitorearon las concentraciones de los contaminantes del agua residual en los influentes y efluentes de humedales artificiales de flujo subsuperficial a escala real para evaluar el papel de los mismos en la remoción o reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total, fósforo total, nitritos, nitratos, coliformes fecales y huevos de helminto presentes en las aguas residuales. Se evaluaron cuatro humedales artificiales con diferentes condiciones, capacidades de tratamiento y configuraciones de diseño los cuales se localizan en las localidades de Cucuchuco, Santa Fe de la Laguna, Erongaricuaro y San Jerónimo Purenchécuaro. Los humedales artificiales se encuentran plantados con *Typha spp.* que es una planta acuáticas muy común en la región de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro llamada comúnmente como “chuspata”. Asimismo, los humedales artificiales se encuentran empacados con escoria volcánica generalmente conocida como tezontle. Los resultados obtenidos indican que los humedales artificiales obtuvieron eficiencias de remoción entre 80.6% y 89.1% para el caso de la DBO<sub>5</sub>, entre 78.9% y 98.0% para SST, de 22.5% a 48.6% para nitrógeno total, de 11.9% a 31.14% para fósforo total, entre 9.2% y 71.0% para nitratos, 91.6% y 96.3% para nitritos, entre 3 y 4 unidades log para coliformes fecales (entre 99.91 a 99.99% de remoción) y del 100% para huevos de helminto. Cabe mencionar que cada uno de los humedales artificiales trata volúmenes diferentes de aguas residuales y que su configuración también es diferente. Con la instalación de estos cuatro humedales artificiales se trata un gasto promedio total de 8.9 lps (768.96 m<sup>3</sup>/d), beneficiando a una población directa de 10,552 habitantes (INEGI, 2010) en las cuatro localidades antes mencionadas.

**Palabras clave:** Humedales artificiales, tratamiento de aguas residuales, pequeñas localidades, remoción de contaminantes, zonas rurales

## 1 INTRODUCCIÓN

La contaminación de los cuerpos de agua en México ha sido un problema que se ha presentado y agravado durante las últimas décadas. Las descargas de aguas residuales municipales crudas a los cuerpos receptores ejercen una fuerte presión por el alto contenido de materia orgánica, organismos patógenos y exceso de nutrientes. El fenómeno de eutrofización originado por los enormes volúmenes de material orgánico que se descargan directamente en ríos y embalses afecta de manera considerable los cuerpos de agua debido a que favorece la proliferación de maleza acuática.

Por otro lado, la tecnología ha avanzado rápidamente y se han desarrollado modernos procesos de tratamiento para revertir dicha contaminación. Actualmente, las plantas para tratamiento de aguas residuales cuentan con



procesos avanzados de oxidación para la eliminación de nutrientes o compuestos de difícil degradación, como son los lixiviados de efluentes industriales o de rellenos sanitarios. Sin embargo, estas tecnologías además de aumentar los costos de instalación, operación y mantenimiento que muchas veces son difíciles de cubrir en el contexto nacional, requieren de personal altamente calificado para llevar a cabo su operación y mantenimiento por lo que, dichas tecnologías son aplicables a procesos industriales o en zonas urbanas con buena capacidad financiera. Sin embargo, en zonas urbanas con poca capacidad financiera y sobre todo en comunidades rurales, sería prácticamente imposible instalar esta infraestructura debido a que no se cuentan ni con las condiciones económicas necesarias ni con el personal para llevar a cabo su operación y mantenimiento.

No obstante, existen tecnologías alternativas y apropiadas para el tratamiento de aguas residuales en estas zonas. Una de estas alternativas son los humedales artificiales, los cuales basados en una simbiosis biológica entre ciertas especies de plantas acuáticas, microorganismos y substrato (suelo o medio filtrante), así como sus interacciones con la atmósfera, proporcionan un tratamiento efectivo al agua residual. Estos sistemas se han utilizado ampliamente en Estados Unidos y Europa ya que presentan grandes ventajas comparados con plantas de tratamiento que utilizan procesos convencionales, sus principales aplicaciones van desde localidades rurales o urbanas hasta escuelas, hoteles, casa-habitación, etc.

Según el Programa Nacional Hídrico 2007-2012 (CONAGUA, 2008), uno de los principales retos a superar asociados al Objetivo 2 “Incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento” de dicho Programa, era implantar tecnologías adecuadas al entorno local en el suministro de los servicios de agua potable y saneamiento, principalmente en el ámbito rural. Ante este hecho, las comunidades rurales (menor a 2,500 habitantes) y zonas urbanas pequeñas son las que más carecen de un sistema de saneamiento y si sumado a que existe una dependencia tecnológica, falta de personal altamente capacitado, altos consumos de productos químicos y energía para operar y mantener los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas convencionales, la transferencia de algún tipo de sistema de tratamiento a estas zonas se dificulta.

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La cuenca del Lago de Pátzcuaro tiene una superficie de aportación de 1,096 kilómetros cuadrados y geográficamente se localiza en la parte central del estado de Michoacán, en la región hidrológica número 12 Lerma-Santiago, entre los paralelos 19°20' y 19°50' de latitud norte y entre los meridianos 101°20' y 101°55' de longitud oeste. Se encuentra delimitada por las siguientes regiones y cuencas hidrológicas: al norte por la cuenca Río Angulo, al sur y al oeste por la Región Hidrológica número 18 Balsas y al este por la cuenca Lago de Cuitzeo (DOF, 2003). El área de la cuenca comprende principalmente los cuatro municipios ribereños Pátzcuaro, Erongarícuaro, Quiroga y Tzintzuntzan, y una pequeña superficie de los municipios de Coeneo, Huriamba, Lagunillas y Salvador Escalante. Incluye hacia la periferia también las localidades de San Isidro y Emiliano Zapata en el municipio de Nahuatzen, así como San Francisco del municipio de Tingambato (Salcedo, 2006). Sin embargo para los propósitos de este trabajo se consideran únicamente los cuatro municipios que se encuentran alrededor del lago de Pátzcuaro señalados en la figura 1.

La Cuenca del Lago de Pátzcuaro es considerada una cuenca endorreica, es decir, no tiene salida fluvial hacia el mar y toda precipitación que cae en ella, se pierde ya sea por evaporación o por infiltración. Tiene una superficie de 929 kilómetros cuadrados aproximadamente, de los cuales 126.4 corresponden al espejo de agua.

Tiene una profundidad media de 4.7 metros y una máxima de 10.9 metros. Su volumen es aproximadamente de 368 millones de metros cúbicos (Bravo *et al.*, 2012).

El Lago de Pátzcuaro, siendo un sistema cerrado sin afluentes de importancia, puede ser más sensible al desequilibrio hidráulico que los sistemas abiertos. Las variaciones anuales en su volumen de agua se encuentran determinadas principalmente por las diferencias entre precipitación, evapotranspiración, escurrimientos superficiales y agua de infiltración procedentes de la cuenca de captación. Su evolución natural lo ha conducido de ser un lago joven tipo oligotrófico, es decir, de aguas claras, limpias y profundas, a convertirse en un lago de tipo eutrófico, es decir, somero, turbio y con alta concentración de nutrientes. Una de las razones de este cambio se debe en una buena parte al vertido de las aguas residuales al lago sin un tratamiento previo, provocando la acumulación de azolve y exceso de nutrientes, ya que al ser un sistema cerrado el agua no fluye y toda contaminación que se descarga al lago se queda almacenada ahí.

Actualmente, la cuenca enfrenta un grave proceso de deterioro que amenaza la calidad de vida de la población y la integridad de sus recursos naturales: agua, bosque, suelo y vida silvestre. Debido a la falta de una fuente de empleo, existe pobreza extrema en zonas de la cuenca, lo que conduce a la población a la sobre explotación de los recursos naturales. Dadas las características ecológicas, la cuenca, se considera una de las regiones más notables de México, por su importancia ecológica, social, cultural y geológica.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES INSTALADOS EN LA CUENCA DEL LAGO DE PÁTZCUARO**

Con la finalidad de contribuir a la reducción del vertido de aguas residuales sin un tratamiento previo al Lago de Pátzcuaro, hasta la fecha se han instalado cinco sistemas de tratamiento de aguas residuales a base de humedales artificiales en diferentes localidades aledañas al lago: uno en Cucuchucho, uno en Santa Fe de la Laguna, uno en Erongarícuaro y dos en San Jerónimo Purenchécuaro (figuras 2, 3, 4, 5 y 6). Estos sistemas de tratamiento están formados por: pretratamiento (cribas y canales desarenadores), tratamiento primario (sedimentación) y tratamiento secundario, a excepción de los dos sistemas de tratamiento de la localidad de San Jerónimo Purenchécuaro, este último tratamiento está conformado por humedal de tratamiento, laguna de maduración y humedal de pulimento. Para el caso de San Jerónimo Purenchécuaro, estos sistemas solamente cuentan con un humedal de tratamiento dividido en módulos. La tabla 1 muestra las principales características de diseño de cada uno de estos humedales artificiales.

El tipo de humedal artificial utilizado es llamado de flujo subsuperficial horizontal, el cual consiste en canales o zanjas excavadas rellenas de material granular, en donde el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie de la misma. Su instalación implica la colocación de una membrana de recubrimiento (o suelo relativamente impermeable) para la protección del agua subterránea y del suelo, así como también estructuras de entrada y salida para la correcta distribución y recolección del agua. Este tipo de humedales artificiales ha sido bastante estudiado por las ventajas que ofrece sobre los sistemas de flujo superficial como un mejor control de mosquitos, prevención de olores, eliminación del riesgo de que las personas entren en contacto con el agua residual parcialmente tratada y el requerimiento de una menor superficie en comparación a los humedales artificiales de flujo superficial, ya que sus tasas de reacción microbianas pueden ser mayores para muchos contaminantes (Seoánez, 2004). Aunque el área requerida sea menor, la viabilidad económica del sistema dependerá del costo generado por la compra y colocación del material granular en el lecho.

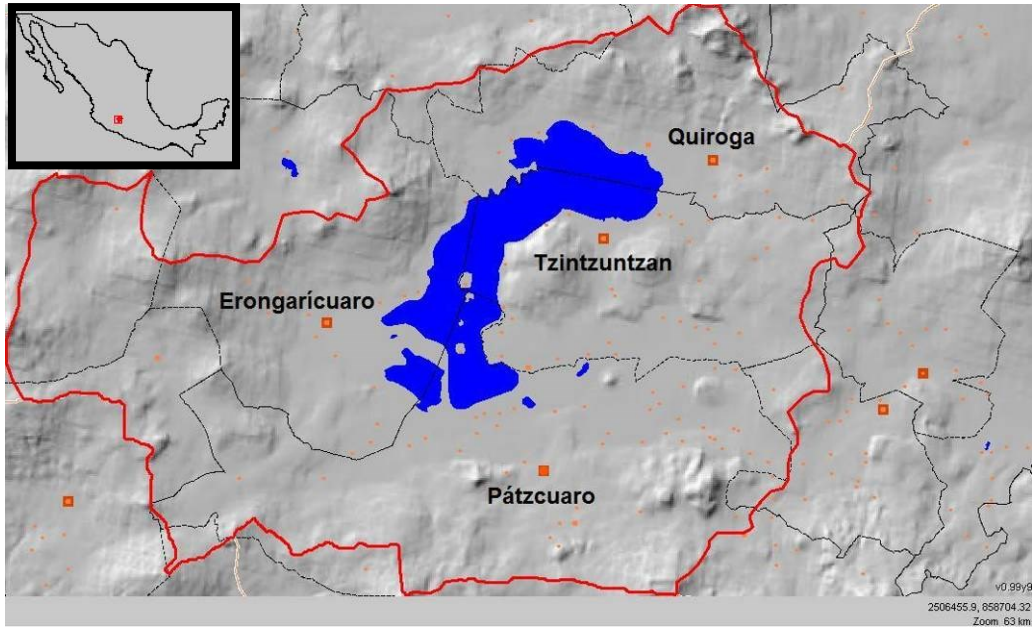


Figura 1. Delimitación de la cuenca del lago de Pátzcuaro (INE, 2010).



Figura 2. Localización de los humedales artificiales en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro.



Figura 3. Humedal artificial de Cucuchucho



Figura 4. Humedal artificial de Santa Fe de la Laguna



Figura 5. Humedal artificial de Erongarícuaro



Figura 6. Humedal artificial de San Jerónimo Purenchécuaro 1

Tabla 1. Principales características de diseño de los humedales artificiales instalados en la cuenca del lago de Pátzcuaro (adaptado de González y Rivas, 2008).

Criterio de diseño	Cucuchucho, Tzintzuntzan	Santa Fe de la Laguna	Erongarícuaro	San Jerónimo Purenchécuaro	
Caudal medio, l/s	0.5	3.0	3.33	0.8	1.8
Población, hab	600	2,700	2,953	1,856	
DBO <sub>5</sub> total influente, mg/l	468.0	414.0	231.0	232.7	357.0
NT influente, mg/l	47.0	71.0	60.0	21.1	11.5
PT influente, mg/l	11.0	13.0	13.0	11.4	12.3
CF influente, NMP/100 ml	1.7 E06	6.8 E07	3.41 E08	2.1 E07	7.8 E07
Área de tratamiento**, ha	0.31	1.06	1.15	0.30	0.674

\*\*Se considera únicamente el área superficial que ocupan tanto los humedales artificiales como las lagunas de maduración si es el caso.

El sustrato utilizado en los humedales artificiales es una piedra volcánica conocida comúnmente como tezontle, el cual ayuda filtrar y atrapar las partículas presentes en el agua residual, sirve de soporte para la vegetación y proporciona una superficie para la fijación de la población microbiana que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes. Además, el material granular sirve como protección térmica para evitar problemas de congelamiento en climas muy fríos.

En cuanto a la vegetación (macrofitas) utilizada se utilizaron plantas acuáticas de la región como el “carrizo” (*Phragmites spp.*) y la “chuspata” (*Typha latifolia*) la cual contribuye a la oxigenación de la columna de agua, a la eliminación de nutrientes y sobre la cual en el área de las raíces también se desarrolla la comunidad microbiana. La primera se utilizó en los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical para el tratamiento de los lodos generados mientras que la segunda se utilizó en los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento del agua.

### 3 RESULTADOS

Los resultados de los valores promedio de los diferentes contaminantes que fueron analizados (DBO<sub>5</sub> total, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales) se muestran en la tabla 2. Estos parámetros fueron considerados ya que son utilizados para el diseño, para la determinación de las constantes cinéticas y además se encuentran dentro de la norma oficial mexicana. Las eficiencias de remoción de DBO<sub>5</sub> total y SST están entre 80%-89% y 78%-98% respectivamente. En lo que respecta a la eliminación de NT oscilan entre 22%-49%. Para el PT están entre 11.9%-31.1%. Finalmente los resultados obtenidos en la remoción de coliformes fecales son del orden de 99% (García, 2012).

La remoción de nitrógeno está en función de la presencia y ausencia de oxígeno en el lecho filtrante (nitrificación-desnitrificación) pero a pesar que se pueden dar ambas condiciones al mismo tiempo, una prevalecerá sobre la otra, lo que la capacidad de eliminar el nitrógeno se ve afectada ya que el proceso de nitrificación tiene lugar en dos etapas en las que el nitrógeno amoniacal es oxidado a nitrito y posteriormente a nitrato, y que en el proceso de desnitrificación el nitrato es reducido a compuestos nitrogenados gaseosos. Además, se encuentran presentes los procesos de hidrólisis del nitrógeno orgánico, y los procesos de asimilación, crecimiento y lisis bacteriana a partir de nitrógeno inorgánico en forma amoniacal (Claros, 2012). Por otro lado, Akratos and Tsihrintzis (2006) evaluaron el efecto de la temperatura, el tiempo de retención hidráulico, el tipo de vegetación y el tamaño y tipo del poro sobre la eficiencia de remoción de contaminantes, encontrando que la remoción de nitrógeno se encuentra influenciada por la temperatura. Según los resultados de dicho estudio, si la temperatura del agua es mayor a 15°C, es decir, cuando las plantas crecen y la actividad microbiana es favorable, ocho días son suficientes para una alta remoción de nitrógeno. Por el contrario, si la temperatura es menor a 15°C, se necesita un tiempo de retención hidráulico de 14 a 20 días para su remoción.

El fósforo y sus diferentes formas son removidos por captación de la planta, adsorción del medio de soporte y precipitación (Kadlec and Knight, 1996). Durante la época de lluvias, la vegetación es más abundante por lo tanto, existe una mayor área superficial de las raíces dentro del humedal para que se lleve a cabo la remoción de fósforo. Por otro lado, la remoción de fósforo se encuentra también altamente influenciada por la temperatura, el tiempo de retención, la vegetación y el tipo y tamaño del medio filtrante (Akratos and Tsihrintzis, 2006).

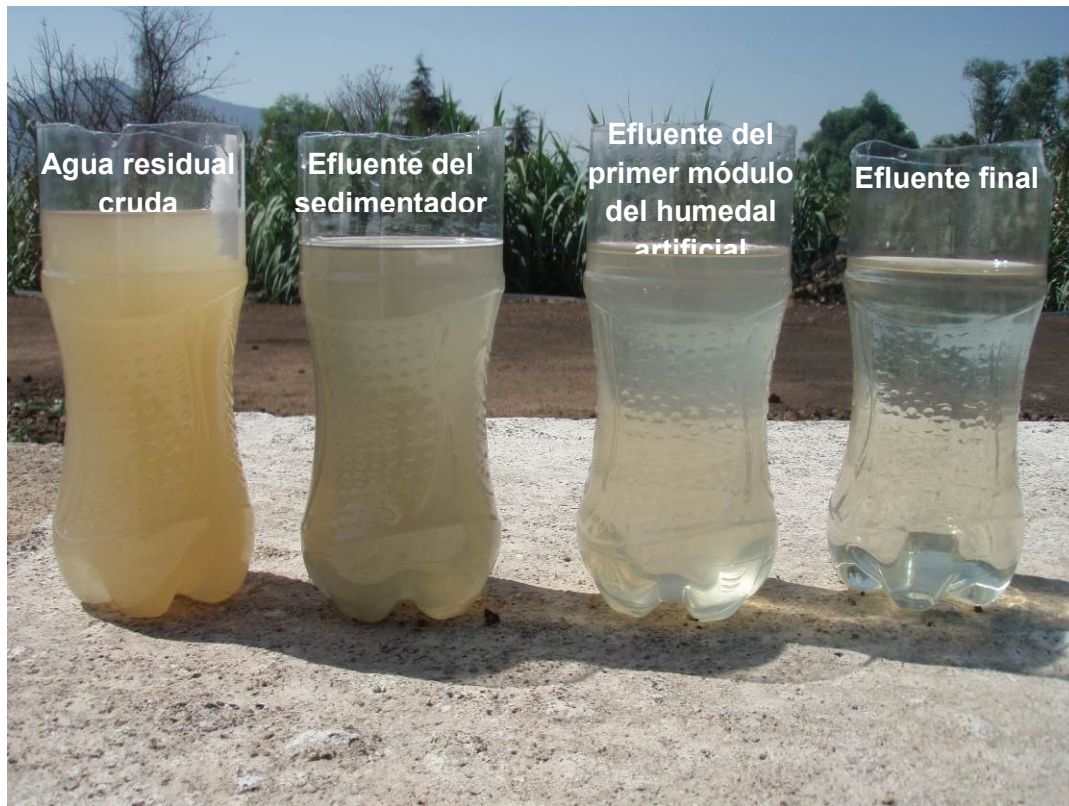
Por otro lado, se pudo observar que la eficiencia de remoción de CF es de 3 y hasta 5 unidades log de magnitud. La remoción de los microorganismos se lleva a cabo por filtración y adsorción sobre las partículas del sustrato, acción depredadora de bacteriófagos y protozoos, toxicidad por antibióticos producidos por las raíces y por la radiación UV contenida en las radiaciones solares a temperaturas poco favorables (Crites and Tchobanoglous, 2000).

La figura 7 muestra la variación del color y la turbiedad del agua residual en cada una de las etapas del proceso de tratamiento en el humedal artificial de flujo subsuperficial de la localidad de San Jerónimo Purenchécuaro. Como se puede observar, tanto el color como la turbiedad van disminuyendo a medida que el agua residual va avanzando a través del sistema de tratamiento eliminando la materia orgánica como los sólidos en suspensión hasta obtener un agua “clara” antes de su vertido al lago de Pátzcuaro.

**Tabla 2.** Eficiencias de remoción de contaminantes de los humedales artificiales instalados en la cuenca del lago de Pátzcuaro.

Criterio de diseño			Cucuchucho, Tzintzuntzan	Santa Fe de la Laguna	Erongarícuaro	San Jerónimo Purenchécuaro
DBO <sub>5</sub> total	promedio	influyente, mg/l	218.4	406.3	285.4	283.9
DBO <sub>5</sub> total	promedio	efluente, mg/l	31.8	56.5	55.3	30.9
Eficiencia (%)			85.4	86.1	80.6	89.1
SST promedio	influyente,	mg/l	176.4	637.4	204.0	342.6
SST promedio efluente, mg/l			7.8	12.5	43.0	8.0
Eficiencia (%)			95.6	98.0	78.9	97.7
NT promedio influyente, mg/l			30.6	98.1	43.5	62.5
NT promedio efluente, mg/l			23.7	49.6	24.0	32.1
Eficiencia (%)			22.5	49.5	44.9	48.6
PT promedio influyente, mg/l			8.5	23.5	11.6	13.3
PT promedio efluente, mg/l			6.4	22.0	10.2	9.2
Eficiencia (%)			25.8	6.56	11.9	31.1
CF promedio	influyente,	NMP/100 ml	1.57 E07	7.3 E07	5.3 E07	7.0 E07
CF efluente, NMP/100 ml			14,925	16,800	892.5	42,250
Eficiencia (%)			99.91	99.98	99.99	99.94

\*No se realizaron muestreos de calidad del agua ya que este sistema de tratamiento concluyo su instalación en noviembre de 2012.



**Figura 6.** Variación del aspecto físico del agua residual en cada una de las etapas del proceso de tratamiento.

#### **4 CONCLUSIONES**

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal son una opción viable para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de pequeñas localidades, especialmente si se requiere reducir el contenido de materia orgánica y de SST.

En cuanto a la remoción de nutrientes como el nitrógeno y fósforo, si bien no sufrieron una reducción importante en las condiciones experimentadas, si hubo una disminución de los mismos. En cuanto a los microorganismos patógenos, su reducción fue muy aceptable. Los resultados obtenidos en este proyecto mostraron la eficacia del método para la depuración de aguas residuales de una forma natural y económica, con un gasto mínimo de energía y un mantenimiento relativamente sencillo.

Es importante señalar que los humedales artificiales de flujo subsuperficial son muy susceptibles a la colmatación del medio granular, por lo que es de suma importancia seguir mejorando su diseño basado en las experiencias obtenidas con la finalidad de reducir la superficie utilizada y el tiempo de colmatación sin disminuir las eficiencias de tratamiento.

Debido a sus características, los humedales artificiales implican costos iniciales competitivos de instalación y bajos costos de operación y mantenimiento, ya que no requieren bombeos, aplicación de químicos o la utilización de equipo sofisticado. De igual manera, requieren poco personal y no especializado para su operación y mantenimiento. Con la instalación de estos cinco humedales artificiales se trata un gasto promedio total de 8.9 lps (768.96 m<sup>3</sup>/d), beneficiando a una población directa de 10,552 habitantes (INEGI, 2010) de las localidades de Cucuchucho, Santa Fe de la Laguna, Erongarícuaro y San Jerónimo Purenchécuaro.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido de parte de la Fundación Gonzalo Río Arronte a través de su “Programa Agua” por el financiamiento del proyecto que dio lugar a esta publicación. También se agradece el apoyo y la colaboración de las comunidades de Cucuchuco, Santa Fe de la Laguna, Erongarícuaro y San Jerónimo Purenchécuaro así como a los municipios correspondientes, asimismo a los operadores de los diferentes humedales artificiales de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro.

## REFERENCES

- Akratos, C.S. and Tsihrintzis V. A. 2007. Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*. Volume 29, Issue 2. pp 173-191.
- Bravo-Inclan, L.; Tomasini-Ortiz, A. C.; Sánchez-Chávez J. J. y Moller-Chávez G.. 2012. Estudio de eutroficación del lago de pátzcuaro, Mich., y su relación con los florecimientos de cianobacterias. [en línea]. XXII Congreso nacional de Hidráulica. Acapulco, Guerrero, México. Noviembre 2012. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2013]. Disponible en <[http://www.revistatlaloc.org.mx/amh\\_congreso/articulos/InfraestructuraParaAbastecimientoySaneamientoDelAgua/286art\\_bil%5B1%5D.pdf](http://www.revistatlaloc.org.mx/amh_congreso/articulos/InfraestructuraParaAbastecimientoySaneamientoDelAgua/286art_bil%5B1%5D.pdf)>.
- Claros Bedoya, J. A. Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual con alta carga de nitrógeno amoniacal. Tesis Doctoral. Valencia, España. Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, 2012. 230 p.
- Crites, R and Tchobanoglous, G. 2000. *Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para Núcleos Pequeños y Descentralizados*. Volumen I. ed. Mc Graw Hill. California, USA.
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2008. Programa Nacional Hídrico 2007 - 2012. [en línea]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. D.F. Febrero de 2008. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2013]. Disponible en <[http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/PNH\\_05-08.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/PNH_05-08.pdf)>.
- DOF. Diario Oficial de la Federación. 2003. ACUERDO por el que se dan a conocer las denominaciones y la ubicación geográfica de las diecinueve cuencas localizadas en la zona hidrológica denominada Río Lerma-Chapala, así como la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas que comprende dicha zona hidrológica. [en línea]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. D.F. Octubre de 2003. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2013]. Disponible en <[http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/dp\\_lerma-chapala.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/dp_lerma-chapala.pdf)>.
- Garcia Maldonado, J. G. 2012. Evaluación integral (eficiencia, capacitación, seguimiento y apropiamiento) de humedales. Informe final. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Hidráulica, Subcoordinación de Tecnología Apropiada e Industrial, 2012. 259 p.
- González, A., C. E., Rivas, H. A. 2008. Humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales generadas en áreas rurales ribereñas al lago de Pátzcuaro. [en línea]. Revista Tlálóc, número 41, marzo-abril, 2008. Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2013]. Disponible en <[http://www.revistatlaloc.org.mx/antiores/archivos\\_pdf/TLALOC\\_41.pdf](http://www.revistatlaloc.org.mx/antiores/archivos_pdf/TLALOC_41.pdf)>.
- INE. Instituto Nacional de Ecología. 2010. Sistema de consulta de las cuencas hidrográficas de México. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2013]. Disponible en <<http://cuencas.ine.gob.mx/>>.



INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por localidad (ITER). [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2013]. Disponible en <[http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta\\_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est](http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est)>.

Kadlec R. H and Knight R. L. 1996. *Treatment Wetlands*. CSR press. Boca Raton, FL, USA.

Salcedo Sanchez, Edith Rosalba. 2006. Aplicación de indicadores de sustentabilidad para la evaluación del manejo del agua en la cuenca del lago de Pátzcuaro, Mich. Tesis (Maestría en ingeniería sistemas). Jiutepec, Morelos, México. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ingeniería. 89 p.

Seoánez M. C., 2004. *Depuración de las Aguas Residuales por Tecnologías Ecológicas y de Bajo Costo*. Madrid, España, ed. Mundi prensa.

# EL PERIFITON, SU RIQUEZA ESPECÍFICA Y DISTRIBUCIÓN EN LA ALBERCA DE TEREMENDO MICHOACÁN, MÉXICO

María del Rosario ORTEGA MURILLO<sup>1</sup>, Octavio VÁSQUEZ-JARQUÍN<sup>1</sup>, Reyna ALVARADO-VILLANUEVA<sup>1</sup>, Rubén HERNÁNDEZ-MORALES<sup>1</sup> y Marisol MARTÍNEZ-MARTÍNEZ<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Edificio “R”, Ciudad Universitaria, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

## RESUMEN

La composición del perifiton en los lagos depende del tipo de sustrato y de su rugosidad así como del estado trófico del agua, dicho gremio constituye la base de la cadena alimenticia de muchas especies acuáticas. El lago cráter la “Alberca” de Teremendo, declarado como una zona Ecoturística, es un sistema donde no se han realizado estudios de dicho grupo, motivo por el cual surge el interés de realizar el presente trabajo. La investigación se efectuó en el periodo de marzo del 2010 a febrero del 2011, realizando el análisis de variables ambientales y del componente biológico, del cual se obtuvieron un total de 175 muestras, las cuales se adquirieron mediante el raspado con ayuda de un cepillo de cerdas finas frotándose en la superficie de diferentes sustratos (plantas, rocas, madera muerta y plástico). Con respecto a la calidad del agua, el sistema se considera moderadamente mineralizado, con baja cantidades de sales, ligeras concentraciones de sólidos, aguas duras, con un pH de 6.5 a 10, donde dominan los bicarbonatos, altas concentraciones de clorofilas, DBO y nutrientes. Del total de muestras analizadas se determinaron 119 especies pertenecientes a ocho divisiones, de las cuales 46 corresponden a Ochrophyta, 33 Chlorophyta, 29 Cyanobacteria, cuatro a Euglenozoa y Charophyta, así como una para Cryptophyta, Dinoflagellata, y Haptophyta. Detectando que el grupo con mayor riqueza de taxa correspondió a las diatomeas dentro de la Ochrophyta. Notando que las algas prefieren el microhabitat que les ofrece la vegetación acuática.

Palabras clave: algas, riqueza, alberca, sustrato

## INTRODUCCIÓN

El perifiton, es considerado como un derivado del bentos; es un gremio integrado por una diversidad de microbiota (algas, bacterias, hongos y animales), que se encuentran adheridos a un sustrato (plantas, rocas, troncos de madera, o artificial). La importancia de dicho grupo, en los sistemas acuáticos, es la producción de metabolitos orgánicos que alimentan a otros organismos consumidores, también contribuye con más del 70 % de la materia orgánica a la productividad total en los cuerpos de agua, presenta una alta tasa de reciclaje, además facilita abrigo y alimento a varios tipos de organismos principalmente peces, considerados como productores primarios también juega un papel como indicador biológico (Darley 1987, Moreira 1988 y Wetzel 2001). Dicha comunidad esta conformada por las microalgas, organismos de una evolución parafilética, estas ecológicamente son sensibles a los cambios ambientales, motivo por el cual son utilizados como bioindicadores de los cuerpos de agua, ya que miden la magnitud del estrés y las características del hábitat (De la Lanza *et al.* 2000). La Alberca de Teremendo, fue declarada una zona ecoturística y los trabajos

realizados en dicha cuenca lacustre son pocos, con esta investigación se pretende detectar la riqueza específica y la distribución de las microalgas que se encuentran adheridas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La Alberca de Teremendo, es un lago cráter (Fig.1), que se localiza al noreste de la cabecera del municipio de Morelia, Michoacán, en la localidad de Teremendo de los Reyes. En las coordenadas  $19^{\circ} 48' 23''$  N y  $101^{\circ} 27' 13''$  W, a una altitud de 2,100 msnm (Correa *et al.* 2003), formando parte del Cinturón Volcánico Transmexicano, (Garduño-Monroy *et al.* 1999), el tipo de rocas corresponden a formas basálticas de permeabilidad alta, los suelos son de origen volcánico, representados por Feozem haplico, con importantes cantidades de arena, seguidas de limo y arcilla, (Correa *et al.* 2003), el tipo de clima es C ( $w_1$ ) (w), templado subhúmedo con lluvias en verano (García 1988), se encuentra dentro de una cuenca endorreica, formando parte de la Región Hidrológica 12 Lerma-Chapala-Santiago (INEGI 1999) y la vegetación es bosque tropical caducifolio dando lugar a la sucesión por vegetación secundaria densa (INEGI 2006).

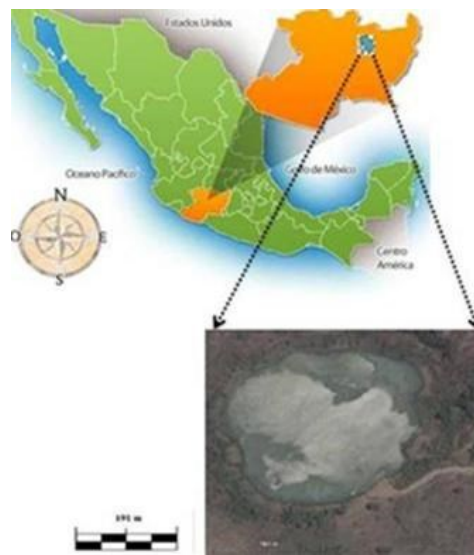


Figura 1. Localización de la Alberca de Teremendo

El estudio se realizó durante un año de colecta con muestreos mensuales de marzo de 2010 a febrero de 2011. En seis sitios de colecta distribuidos alrededor del cono volcánico en el litoral del espejo de agua (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ubicación geográfica de los sitios de colecta

Sitios de colecta	Coordenadas	Características
1	19°48'18.90" N 101°27'20.25" W	Ubicado cerca de la bomba de agua.
2	19°48'23.84" N 101°27'23.64" W	Sitio cercano a huertas de aguacate y cultivo de maíz
3	19°48'30.39" N 101°27'21.09" W	Cerca de cultivos de maíz.
4	19°48'32.18" N 101°27'13.20" W	Sitio cercano a la placa histórica de "La Alberca" de Teremendo.
5	19°48'28.05" N 101°27'09.32" W	Ubicado en el escurrimiento de un manantial
6	19°48'24.57" N 101°27'08.73" W	En la orilla del tular, localizado en el humedal de este lago.

Se midieron variables ambientales como temperatura del aire y del agua, transparencia, profundidad, Oxígeno Disuelto, Conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos, pH, alcalinidad, Dureza, Ortofosfatos, Amonio, DBO y clorofilas (Cancino-Navarrete 2011), siguiendo los criterios de APHA-AWWA-WPCF (1992), Contreras (1984), la Norma Mexicana 1994, para conocer el medio ambiente en que se desarrollan estas algas. La obtención del material biológico, se efectuó a través del raspado de diferentes sustratos, utilizándose un cepillo. Las muestras se depositaron en frascos de 50 ml, cada frasco se etiquetó con sus datos correspondientes, preservándose con formol al 4 %. Siendo transportado al Laboratorio de Biología Acuática "J. Javier Alvarado Díaz" para su posterior análisis. La determinación de las microalgas se llevo acabo utilizando la bibliografía especializada y un microscopio compuesto marca Leitz con los objetivos de 40 y 100 X.

## RESULTADOS

Del análisis de las variables ambientales (Cuadro 2), se puede ver que el lago de Teremendo, es poco profundo con nueve metros, existe una estratificación térmica que oscila de marzo a noviembre, con la superficie oxigenada y un hipolimnio anóxico. La transparencia es reducida y homogénea en todo el año, con un ligero aumento en septiembre. La conductividad y alcalinidad son semejantes en toda la columna del agua, detectándose la presencia de bicarbonatos. Con un pH que oscila de los 6.5 a 10 manifestándose los valores altos en la superficie y los mínimos en el hipolimnio. La dureza es contante desde la superficie hasta el fondo, con un ligero aumento en primavera. Los nutrimentos del nitrógeno amoniacal y ortofósforos se obtuvieron en mayor concentración en el fondo incrementándose en los meses de septiembre a noviembre. El DBO<sub>5</sub> el valor mínimo ocurre en la holomixis para decrecer en primavera e incrementarse en otoño. La Clorofila "a" se encuentra en bajas concentraciones durante todo el estudio.

Cuadro 2. Resultados de las variables ambientales

<b>VARIABLES AMBIENTALES</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>DESVIACIÓN ESTANDAR</b>
Temperatura del aire (°C)	20	5.1
Temperatura del agua (°C)	18	2.6
Transparencia (m)	0.23	7.3
Profundidad (m)	8.9	0.1
Nubosidad (%)	18	30.7
Velocidad del viento y dirección	N-S	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	2.9	3.2
Conductividad eléctrica (µS/cm)	428	71.2
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	206.7	34.8
Salinidad (00/100)	0.3	0.2
Potencial de hidrógeno	8.7	0.8
Demanda Bioquímica de Oxígeno	9.9	4.1
Alcalinidad Total (mg/L)	116.4	20.9
Dureza total (mg/L)	140.6	30.6
Amonio (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg/L)	0.4	0.2
Ortofósforos (PO <sub>4</sub> -3-P)(µg/L)	187.5	64.5
Coliformes totales	899.3	854.8
Coliformes fecales	19.7	36.6
Clorofila <i>a</i>	82.46	60.9

Con respecto a la comunidad de microalgas adheridas, se determinaron un total 119 especies pertenecientes a ocho divisiones, que se distribuyen de la siguiente manera 46 corresponden a Ochrophyta, 33 Chlorophyta, 29 Cyanobacteria, cuatro a Euglenozoa y Charophyta, así como una para Cryptophyta, Dinoflagellata, y Haptophyta (Cuadro 3).

Cuadro 3. Componente taxonómico del perifiton

	<b>Clase</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>
Cyanobacteria	1	5	11	20	29
Euglenozoa	1	1	2	3	4
Dinoflagellata	1	1	1	1	1
Chryptophyta	1	1	1	1	1
Ochrophyta	3	10	20	23	46
Haptophyta	1	1	1	1	1
Chlorophyta	2	5	7	15	33
Charophyta	1	1	2	2	4
Total	11	25	45	66	119

La distribución de los organismos por época (Fig. 2), observó que en invierno ocurrió una menor riqueza (52 especies), para aumentar en primavera (116 especies) y descender en verano (40 especies) y posteriormente aumentar en otoño (58 especies).

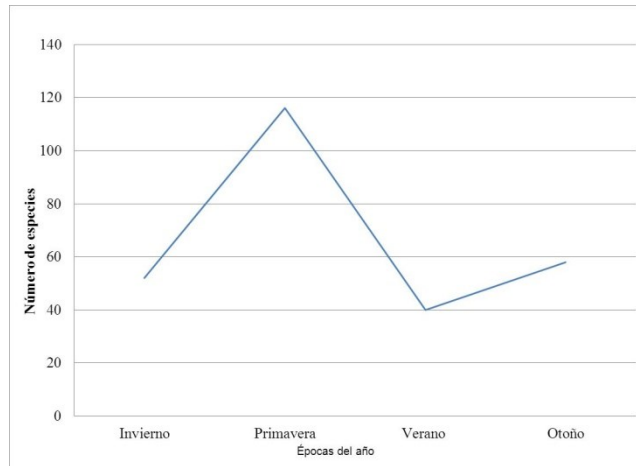
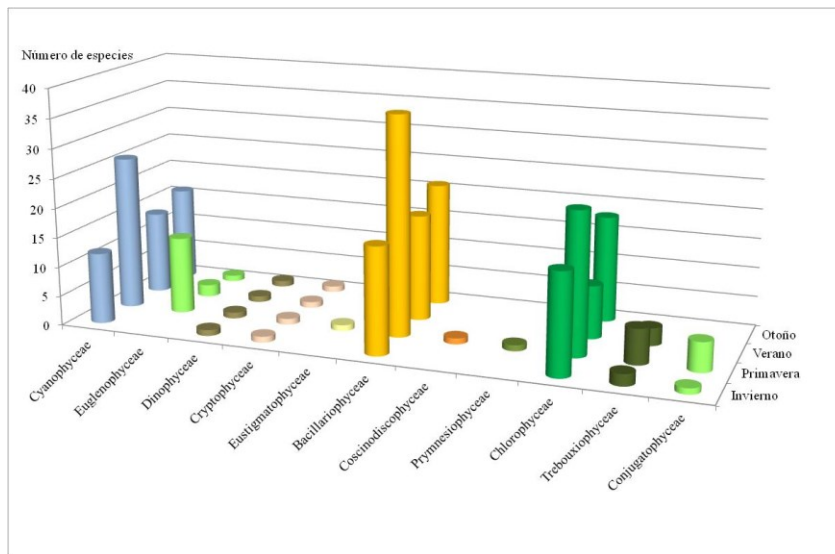


Figura 2. La riqueza de especie del perifiton por épocas

Con respecto a la distribución de las especie presentes en el perifiton se determinaron once clases de las cuales en invierno y verano, solamente estuvieron presentes 7, en primavera ocurrieron 11, mientras que en otoño se detectaron seis. Puede observarse en dicha figura que Biacillariophyceae (Diatomeas) muestra los valores altos en las cuatro épocas de colecta, siguiéndole Cianophyceae (algas azul verde) y por último Chlorophyceae (algas verdes).



De acuerdo al tipo de sustrato (Fig.4), se observa que las microalgas prefieren el hábitat que les ofrece la vegetación, en tanto que el menos colonizado fue el del plástico.

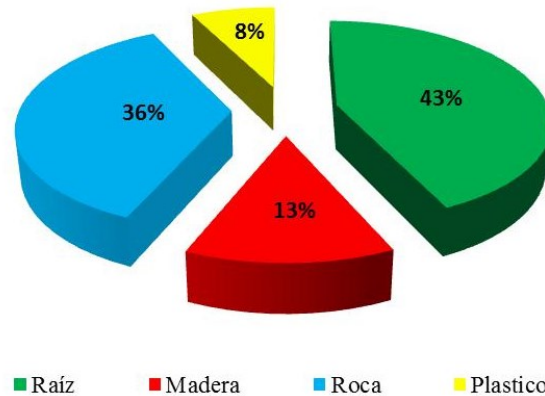


Figura 4. Distribución de la riqueza de especie por sustrato

## DISCUSIÓN

La “Alberca” de Teremendo, con base al régimen termal se puede clasificar como un sistema tropical de segundo orden cálido monomítico, con las máximas concentraciones de oxígeno disuelto en la superficie y su patrón es de tipo clinogrado o hipóxico hasta llegar a un fondo anóxico (Hernández-Morales 2011, Carrillo-Torres 2011 y Cancino-Navarrete 2011). La penetración de los rayos solares es baja (0.23 m), considerándose un cuerpo poco productivo. Sus aguas son muy turbias, lo anterior se debe principalmente al incremento de la carga de erosión en el sistema lacustre, así como a la actividad agrícola que existe alrededor del espejo de agua. Presenta alta concentración de iones lo que lo vuelve aguas ligeramente básicas, se detecta en la superficie que dominan los bicarbonatos, siendo así aguas duras con elevadas concentraciones nutrimentales. Los vientos oscilan del noreste hacia el suroeste, con una velocidad ligera, el patrón de cobertura anual es de 18 %, con mayor densidad que va desde julio a septiembre (Carrillo-Torres 2011 y Cancino-Navarrete 2011). El sistema lacustre se puede considerar poco productivo con base a las concentraciones de clorofilas (“a” las cuales son bajas (Cansino-Navarrete 2011).

La riqueza de taxa de las microalgas adheridas, estuvo representada por las Bacillariophyceae (Ochrophyta), durante las cuatro épocas del año se detectaron valores altos. Dicho grupo es conocido como las diatomeas, cabe mencionar que este grupo es el mejor representados en la mayoría de los cuerpos de agua y en una gran variedad de hábitats (Round *et al.* 2000), por su sensibilidad de respuesta a los cambios ambientales, es considerado como indicador de la calidad del agua y del estado trófico (Lowe 1974 y De la Lanza *et al.* 2000).

Las Cyanophyceae o algas azul verde, ocupan el segundo lugar en la riqueza específica, al respecto Margalef (1983), menciona que es característico de aguas someras, ligeramente alcalinas, cálidas, con alto contenido de nitrógeno y fósforo, condiciones que imperan en el sistema acuático estudiado. Por último las algas verdes que antiguamente era conocido como Chlorophyta y que en la actualidad las Charophytas fueron separos taxonómicamente de este grupo, Margalef (1983) y Reynolds (1997) indican que son organismos que viven con mayor frecuencia flotando, aunque

muchas de ellas pueden encontrarse adheridas y pueden soportar un extenso rango de condiciones ambientales.

Hernández-Morales (2011) comenta que en el fitoplancton Cyanobacterias fue el grupo que aportó mayor número de especies en primavera y verano, mientras que las Chlorophyta presenta su máximo valor de diversidad taxonómica en otoño ocupando así la segunda posición en la diversidad, en tercer lugar, considera a Bacillariophyceae con el mayor número de especies en otoño, difiriendo completamente con el presente trabajo, lo anterior puede deberse a que las diatomeas o Bacillariophyceae rafiadas (con presencia de rafe), se encuentran adheridas algún sustrato (Round *et al.* 2000), Darley (1987) menciona que dicho grupo es característico del perifiton.

En la distribución de las especies se obtuvo que el pico mayor se manifestó en primavera, cuando la temperatura empieza a aumentar en la superficie y en el fondo es fría, principia la estratificación térmica en la columna de agua y los nutrientes se mueven al fondo del cuerpo de agua. Vásquez-Jarquín (2012) menciona que la distribución de los organismos del perifiton en el lago, esta dada por cuatro variables ambientales (Temperatura, pH, Dureza y Demanda Biológica de Oxígeno), condiciones que ocurren en el presente trabajo en la distribución de la riqueza de taxa. El mayor número de especies se detectó en el sustrato epifítico, cabe mencionar que Darley (1987) cita que el hábitat epifítico mostró atributos propios, ya que la cobertura de las macrofitas acuáticas, crea condiciones con limitante de luz, sin embargo es un sistema termorregulador para los microorganismos que se encuentran en dicho hábitat, además la planta le provee de nutrientes a los organismos del perifiton.

## CONCLUSIONES

La comunidad del perifiton estuvo conformada por 119 especies, de las cuales la riqueza específica resaltó a las diatomeas (Bacillariophyceae) y dentro de estas el mayor número de especies, correspondió a las formas rafiadas, organismos característicos de este gremio.

La distribución estuvo dada principalmente por la temperatura, pH, dureza y demanda biológica de oxígeno, en cuanto a sustratos el idóneo fue el hábitat proporcionado por las macrofitas acuáticas.

## REFERENCIAS

APHA AWWA WPCF.1992. *Methods for Examination of water*. 19<sup>TH</sup> edition. American Public Health Association (APHA) American Methods Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF) USA.

Cancino-Navarrete, R. 2011. Evaluación de la calidad del agua y el estado trófico en el lago cráter de Teremendo, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 73 pp.

Carrillo-Torres, N. 2011. Evaluación térmica y de los atributos ópticos en tres lagos cráter del estado de Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 130 pp.

Contreras, E. 1984. *Manual de Técnicas Hidrobiológicas*. Universidad Autónoma Metropolitana/Iztapalapa, México. 145 pp.



Correa, P. G., F. Vargas, S. L. Bravo, G. Sánchez-Díaz, E. Antamarían, X. Madrigal, A. Arévalo, G. Vargas-Uribe, M. Macías, G. Correa, V. Duran y J. M. Espinoza, 2003. *Atlas geográfico del Estado de Michoacán*. SEP. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ed. Eddisa. México. 308 pp.

Darley, W. M. 1987. *Biología de las Algas, Enfoque Fisiológico*. Ed. Limusa, México. D.F. 236 pp.

De la Lanza, E. G., S. Hernández P. y J. L. Carvajal P. 2000. *Organismos indicadores de la calidad de agua y de la contaminación (Bioindicadores)*. Plaza y Valdés S. A. de C. V., México. 633 pp.

García, E. 1988. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana 4ª*. Ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma.

Garduño-Monroy, V. H., P. Corona-Chávez, I. Isrrade-Alcantara, L. Mennella, E. Arreygue, B. Bigioggero, y S. Chiesa. 1999. *Carta Geológica de Michoacán Escala 1:250 000*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 111 pp.

Hernández-Morales R. 2011. Fitoplancton de los lagos cráter de Michoacán, México. Tesis de Grado de Maestro en Ciencias. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 235 pp.

Instituto Nacional de Estadística Geografía, e Informática. 1999. Carta Hidrológica de aguas superficiales. 1:100,000; Michoacán.

Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática. 2006. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán.

Lowe, R.L. 1974. *Environmental requirements and pollution tolerance of fresh water diatoms*. EPA report # Epa-6704/74-005, Cincinnati Oh. 333 pp.

Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona España. 1010 pp.

Moreira, M. A. 1988. *Mapas conceptuales y aprendizaje significativo en ciencias*. Cuadernos de Aplicación, Puerto Alegre, 11(2), 143-156 pp.

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límite permisible de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización.

Reynolds, C. S. 1997. *Vegetation Processes in the Pelagic: A model Ecosystem the dry in Ecology* 9. O. Kinna. Editor. Institute Germany 1-15 pp.

Round, F. E., R. Crawford M. y D. Mann G. 2000. *The Diatoms*. Cambridge University. Press. Great Britain. 147 pp.

Vásquez-Jarquín, O. 2012. Algas perifíticas del litoral del lago cráter “La Alberca” de Teremendo, Municipio de Morelia, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 107 pp.

# PROPIEDADES HÍDRICAS, EDÁFICAS Y FLORA VASCULAR DE AMBIENTES RIBEREÑOS EN LA REGIÓN ORIENTAL DE LA CUENCA DE MÉXICO, EN EL PARQUE NACIONAL IZTAPOPO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Cruz-Flores Gerardo<sup>1</sup>, Eloisa A. Guerra-Hernández<sup>1</sup>, Jorge Etchevers B.<sup>2</sup> y Mitzi Y. Ayala Campos<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Edafología y Fisiología de la Nutrición Vegetal, UMIEZ; Calidad del Agua y Ecohidrología, Carrera de Biología. FES Zaragoza, UNAM. Batalla 5 de mayo, Esq. Fuerte de Loreto, Col Ejército de Oriente. CP 09230. Iztapalapa, D. F. Tel. 5623 0700 #39183 [edaynuve@gmail.com](mailto:edaynuve@gmail.com) y [eagh@unam.mx](mailto:eagh@unam.mx).

<sup>2</sup>Laboratorio de Fertilidad. IRENAT. Colegio de Postgraduados.

## RESUMEN

En ambientes ribereños, conservados y perturbados del occidente del Parque Nacional Izta-Popo (PN-IP), se realizó esta investigación con la finalidad de: a) Realizar un listado de las plantas vasculares ribereñas y su densidad, b) determinar carbono orgánico (CO) de suelo ribereño (SR) superficial adyacente al cauce en afluentes del Río Amecameca, y c) conocer el grado de asociación de COS, N-total y P-disponible de SR con composición fisico-química del agua y parámetros hidrológicos. Para caracterizar SR y determinar CO fueron delimitados, a ambos lados del cauce, cuadrantes de  $25 \times 5 + 25 \times 5 = 250\text{m}^2$  y a intervalos fijos del mismo se tomaron muestras de suelo (0-0.2m). A igual profundidad en suelos de bosques trans-ribereños (SBTR) en cuadrantes de  $20\text{m} \times 50\text{m} = 1000\text{m}^2$  ubicados más allá de 5m fue colectado, al azar, otro grupo de muestras para utilizarse como contraste con SR. Se encontró mayor contenido de CO donde las familias Asteraceae, Rosaceae y Caryophyllaceae tuvieron mayor densidad. El menor contenido de CO de SR se encontró en sitios perturbados ( $< 5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) respecto a los ubicados en cañadas menos accesibles y mayor densidad de vegetación ( $> 240 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). El análisis de correlación canónica (ACC) entre variables de agua y suelo, mostró que la dureza total, gasto de corriente y conductividad eléctrica del agua, tuvieron efecto positivo sobre el grado de asociación con variables edáficas, mientras que N-total, P-disponible y en menor grado el COS, aportaron efecto positivo al grado de asociación entre propiedades de SR con las propiedades del agua.

**Palabras Clave:** Flora ribereña de bosque templado, suelos ribereños, hidrología y propiedades del agua.

## INTRODUCCIÓN

En México, más de sesenta parques nacionales (PN) brindan belleza escénica y varios servicios ambientales relacionados estrechamente con la vegetación y su calidad edáfica y, ésta a su vez, con el carbono acumulado en el suelo, entre otras cosas. La tala, extracción de recursos forestales e incendios generan pérdidas de carbono y degradación edáfica (Solberg, 1997) que además atenta contra la conservación de biodiversidad, de los PN (CONANP, 2008). El PN-IP es rico en ecosistemas y abundancia de endemismos (Challenger, 2003) y, aunque forma parte de una región terrestre prioritaria, (RTP-107; Arriaga *et al.*, 2000), es insuficiente el conocimiento del contenido de COS y el de los suelos ribereños es casi nulo.

Elementos fundamentales para la salud de los bosques, son los ambientes ribereños constituyéndose, como línea protectora para la calidad del agua, mediante filtración de sedimentos,

nutrientes y pesticidas (Berka *et al.*, 2001; Robins y Cain, 2002) pero, no obstante su mayor productividad, se desconocen tanto las condiciones edáficas donde la vegetación ribereña se desarrolla como el grado de asociación entre las propiedades físicas y químicas del suelo con las del agua de los cauces (Corbacho *et al.*, 2003). Otro aspecto importante casi desconocido en suelos ribereños es su contenido de COS sobre el que debe investigarse si se considera: i) que el carbono capturado en vegetación y suelo, reduce la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico y mitiga el calentamiento global, y ii) que el COS, ha sido señalado como indicador de sustentabilidad porque su almacenamiento resulta de miles de años de producción primaria neta y es fundamental en la fertilidad química y física del suelo (Lal, 2004; Purakayastha *et al.*, 2008; Balbontin *et al.*, 2009). Los objetivos de este trabajo fueron: (a) hacer un listado de las principales familias de plantas vasculares ribereñas en una toposecuencia que desciende desde 3800m (zona de manantiales), siguió en áreas boscosas (Pino y Oyamel) y finalizó en el límite de la vegetación forestal en terrenos con vegetación secundaria ( $\approx$ 2400m), (b) determinar contenidos de carbono orgánico en el horizonte superior de suelos ribereños y (c) determinar la composición fisico-química del agua en afluentes del Río Ameca y establecer su grado de asociación con COS, N<sub>total</sub> y P<sub>disponible</sub> del horizonte superior de suelos ribereños.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El PN-IP es habitado por taxones resultantes de procesos de especiación ocurridos al “hibridizar” las regiones Neártica y Neotropical (Escalante *et al.*, 2005); sus tipos de vegetación dominante son pradera de alta montaña, bosques de pino y oyamel y cultivos agrícolas con una variada y abundante fauna (Villa y Cervantes, 2003) propia de climas templados húmedos y templados fríos (SMN, 2010). Andesitas de piroxeno, minerales vítricos microcristalinos y andesítico-dacítico en volcanes antiguos (Iztaccíhuatl) y, andesitas de hornblenda en el Popocatepetl cuyo cráter es de morfología joven son el material geológico dominante (Macías, 2005) que, conjugado con elementos climáticos, relieve y vegetación formaron un mosaico edáfico con Litosoles, Regosoles, Andosoles y Cambisoles principalmente (INEGI, 2009). En la exposición oeste del Iztaccíhuatl, nace el río Amecameca que recorre este municipio, Chalco, Mixquic, Tláhuac y Xochimilco, entrando entubado por la Viga e Ixtacalco y termina en el centro de la Ciudad de México como drenaje de aguas negras que son bombeadas al gran canal (Legorreta, 2010).

## MÉTODO EXPERIMENTAL

La investigación se condujo de febrero de 2008 a febrero de 2010 en una toposecuencia de 2430 a 3900m de altitud en una red de diecisiete sitios ribereños del Río Amecameca a ambos lados de afluentes de régimen hidrológico permanente en suelos bajo vegetación de pradera de alta montaña, bosques de pino y oyamel y vegetación secundaria. Los sitios se seleccionaron con recorridos de campo y ayuda cartográfica para garantizar la mayor expresión de su variabilidad ambiental en zonas conservadas o alteradas en sus propiedades físicas y bióticas determinando su situación geográfica, orientación y grado de pendiente. Se caracterizó la vegetación y realizó el listado de plantas vasculares ribereñas, a ambos lados del cauce, en dos cuadrantes de 25m×1m (50m<sup>2</sup>), se colectó a las especies dominantes y determinó su densidad (número de individuos.m<sup>-2</sup>). La familia, género o especie de plantas se determinó con ayuda de claves taxonómicas.

Para caracterizar el horizonte superior de suelos ribereños, (espesor de 0 a 0.2m) se trazaron cuadrantes de 25m×5m adyacentes al cauce. Al inicio, en medio y final de ellos (0, 12.5 y 25 m a ambos lados del cauce), se colectaron seis submuestras a 1m y seis más a 5m en relación al borde del cauce (Distancias 1 y 2). Para determinar diferencias en contenido de carbono y de algunas propiedades físicas y químicas entre SR con SBTR (Distancia 3), también se colectaron al azar entre cuatro y seis submuestras de suelo (0 a 0.2m) en cuadrantes de 50m×20m delimitados en

bosques cercanos, pero fuera de la influencia del ambiente ribereño. Con las submuestras se formaron muestras compuestas de suelo, éstas se secaron al aire y tamizaron (malla 2 mm) y determinó humedad, espacio poroso, textura, densidad aparente y real, pH activo y potencial 1:2, conductividad eléctrica (1:5, 25°C); N<sub>total</sub> con inclusión de nitratos, P<sub>disponible</sub> (Bray-I), porcentaje de MOS (NOM-021-RECNAT 2000) y estimó el contenido de carbono con la relación: Peso de COS=(Peso del suelo)\*(porcentaje de C en MOS) y con los contenidos de C y N se calculó la relación C:N del suelo.

Se definieron treinta estaciones, que comprendieron tramos de 25m de longitud, tanto para estimar parámetros hidrológicos: aforo de corriente (Q), sección velocidad y temperatura del agua como para caracterizar la composición fisico-química del agua (Aparicio, 1994). Se determinó *in situ* pH y CE con pH-Combo-Hanna HI98129; oxígeno disuelto (Winkler modificado y medidor OXIMETRO-YSI) y colectó en botellas de plástico opaco muestras de agua que se almacenaron y conservaron según normas de la Environmental Protection Agency (EPA). En laboratorio se determinó; sólidos totales disueltos y suspendidos (TDS, métodos electrométrico y sedimentación en cono y MHOFF); DBO<sub>5</sub> (Winkler modificado); alcalinidad total, volumetría; dureza de Ca, Mg y total (complejometría); NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (ácidos fenoldisulfónico y sulfanílico) y PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (fosfomolibdato) APHA (2012).

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de Tukey que mostraran patrones de comportamiento de los contenidos de CO, N<sub>total</sub>, razón C:N y P<sub>disponible</sub> en SR determinando sus diferencias respecto a distancia al cauce. Se realizó el análisis de correlación canónica ACC para describir las relaciones entre CO y propiedades de SR, con los promedios de propiedades físicas y químicas del agua durante el periodo muestreado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 15 familias de plantas vasculares. En sitios con altitud mayor a 3600m y en el ecotono, pradera de alta montaña-bosques de pino, se encontraron monocotiledóneas de las familias Poaceae y Cyperaceae y de la familia Leguminosae (*Lupinus montanus* Kunt). A menor altitud (2700 a 3400 m), se encontró el mayor número de familias Asteraceae, Rosaceae, Caryophyllaceae y Laminaceae (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Plantas ribereñas adyacentes a cauces permanentes. Exposición oeste del PN-IP.

Familia	Nombre científico	Densidad Indiv. m <sup>-2</sup>	Familia	Nombre científico	Densidad Indiv. m <sup>-2</sup>
Caryophyllaceae	<i>Stellaria cuspidata</i> Willd	0.4	Dryopteridaceae	<i>Polystichum rachichlaena</i> Fée. Mém. Foug	0.04
Saxifragaceae	<i>Heuchera orizabensis</i> Helms	0.04	Asteraceae	<i>Senecio platanifolius</i>	0.04
Asteraceae	<i>Eupatorium rivale</i> Greenm	0.12	Rosaceae	<i>Potentilla</i> sp. <i>Alchemilla pinnata</i> Ruiz & Pavón	0.04
Convolvulaceae	<i>Dichondra sericea</i> Sw.	0.04	Onagraceae	<i>Fuchsia microphylla</i> H.B.K.	0.36
Asteraceae	<i>Senecio cinerarioides</i> H. B. K.	0.32	Portulacaceae	--	0.04
Asteraceae	<i>Senecio angulifolius</i> DC.	0.08	Caryophyllaceae	<i>Spergularia mexicana</i> Hemsl.	0.04
Asteraceae	<i>Senecio multidentalis</i> Sch. Bip. Ex. Hemsl.	0.92	Aspleniaceae	--	0.04
Rosaceae	<i>Alchemilla pinnata</i> Ruiz & Pavón	0.04	Asteraceae	<i>Senecio</i> spp, <i>Eupatorium glabratum</i> H.B.K.	0.04
Rosaceae	<i>Potentilla</i> sp.	0.44	Verbenaceae	--	0.04

<i>Laminaceae</i>	<i>Stachys rotundifolia</i> Sessé & Moc.	0.04	<i>Asteraceae</i>	<i>Senecio</i> spp	0.04
<i>Caryophyllaceae</i>	<i>Spergularia mexicana</i> Hemsl.	0.8	<i>Marchantiaceae</i>	<i>Marchantia</i> sp.	0.16
<i>Saliceaceae</i>	<i>Salix paradoxa</i> H.B.K.	0.24	<i>Poáceae</i>	<i>Muhlenbergia</i> spp.	Muy alta
<i>Asteraceae</i>	<i>Senecio multidentalis</i> Sch. Bip. Ex. Hemsl.	0.92	<i>Poaceae</i>	<i>Festuca</i> spp.	Muy alta
<i>Laminaceae</i>	<i>Salvia elegans</i> Vahl	0.96	<i>Poaceae</i>	<i>Bromus</i> spp.	Alta
<i>Asteraceae</i>	<i>Senecio orizabensis</i> Sch. Bip. Ex. Hemsl.	0.16	<i>Cyperaceae</i>	<i>Carex</i> spp.	0.04
<i>Asteraceae</i>	<i>Eupatorium glabratum</i> H.B.K.	0.52	<i>Asteraceae</i>	<i>Gnaphalium roseum</i> H.B.K.	0.04
<i>Asteraceae</i>	<i>Senecio salignus</i> , <i>Senecio</i> sp.	0.04			

*Salvia elegans*, *Senecio multidentalis*, *Senecio cinerarioides*, *Senecio orizabensis*, *Eupatorium rivale* y *Eupatorium glabratum*, *Stellaria cuspidata* Willd., *Spergularia mexicana* Hemsl, *Potentilla* sp., *Salix paradoxa* H.B.K. y *Fuchsia microphylla* H.B.K. fueron las plantas ribereñas encontradas. Sánchez y López (2003) describieron la vegetación, al norte de la sierra nevada encontrando especies de géneros y familias aquí indicadas aunque no señalan si incluyeron ambientes ribereños. La mayor densidad arbórea y distribución de especies en bosques trans-ribereño, estuvo de 2700 a 3400m con *Pinus patula*, *P. pseudostrobus*, *P. hartwegii* y *Abies religiosa* con mayor altura y diámetro normal (DAP) en terrenos inclinados de 10 a 35% (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Condición fisiográfica y biológica de sitios en bosques transribereños\*.

Localidad	Altitud m snm	Especies	Distribución	Densidad	Altura	DAP Cm
		Dominante	de edades <sup>§</sup>	arbórea <sup>€</sup>	Arboles	
Ayapango	2433	Cultivos agrícolas	-	-	-	-
Amecameca	2530	Vegetación secundaria	-	-	-	-
Palo Rechino	2534	<i>Abies religiosa</i> ,	40-0-0	40	25	85.9
		<i>Pinus pseudostrobus</i>	30-0-0	30	20	51.1
Tomacoco	2554	<i>Pinus pseudostrobus</i> ,	236-94-5	330	30	39.5
Tepepotl 1	2634	<i>Pinus montezumae</i> ,	82-38-4	120	20	38.8
		<i>Abies religiosa</i>	29-14-4	43	25	23.6
		<i>Cupressus</i> spp	200-240-0	440	30	84.6
Apapaxco*	2702	<i>Pinus patula</i> ,	160-640 <sup>€</sup> -0	160	25	41.7
		<i>Eucaliptos</i>	280-0-0	280		
Tetlacuilco	2857	<i>Abies religiosa</i>	520-0-0	520	25	39.8
		<i>Abies religiosa</i>	230-60-0	290	30	42.8
Palomas	2949	<i>Abies religiosa</i>	60-0-0	60	30	44.3
		<i>Cupressus</i> spp	20-0-0	20	35	51.3

Potrero	3221	<i>Abies religiosa</i>	60–160-470	220	35	25.2
		<i>Pinus patula</i>	9–16-50	25	30	33.7
Potrero	3230	<i>Abies religiosa</i>	210–120-190	210	25	34.7
		<i>Cupressus spp</i>	10–0–0	10	30	54.1
Vivero	3489	<i>Abies religiosa</i>	115–63-149	115	25	58.2
		<i>Pinus pseudostrobus</i>	30–12-8	30	25	49.9
Amalacaxco	3520	<i>Pinus hartwegii</i>	240–200-240	440	20	99
Cisterna PC	3659	<i>Abies religiosa</i>	268–86-181	354	23	45.5
La Joya	3844	Zacatonal alpino	-	-	-	-
Alzotmoni	3883	Zacatonal alpino	-	-	-	-

(\*más de 5m del caudal). La pendiente de terreno (10 a 35%, media, 20%; \* Presencia de eucaliptos; <sup>ε</sup>Promedio sólo adultos y juveniles; <sup>ε</sup>Reforestación de 8 años; <sup>ε</sup>M-J-B =maduro-juvenil-brinzal.

El Cuadro 3 muestra la media, desviación típica e intervalo de valores de algunas propiedades físicas y químicas de SR a uno y cinco metros del cauce. El arrastre de partículas de textura fina y media a ambos lados del caudal, que propician remoción de sedimento en algunos sitios y su acumulación en otros son una razón que explica la variación en humedad y espacio poroso del suelo. Los valores de pH y CE de SR fueron semejantes a los encontrados para SBTR.

**Cuadro 3.** Características físicas y químicas de SR adyacentes a afluentes permanentes del PN-IP.

Variable	Unidades	Media ± Desv. Típica	Mínimo	Máximo
Humedad suelo	%	30.7 ± 16.0	1.9	76.7
Espacio poroso	%	72.99 ± 13.8	18.6	96.4
pH activo 1:2	Unidades de pH	5.6 ± 0.7	4.3	8.3
pH potencial 1:2 KCl 1N	Unidades de pH	4.9 ± 0.5	3.9	6.4
C.E.	dS m <sup>-1</sup>	0.11 ± 0.07	0.09	0.4
CO	Mg ha <sup>-1</sup>	63.6 ± 39.2	4.98	299.96
N-total	Mg ha <sup>-1</sup>	2.4 ± 1.5	0.17	9.6
C:N	--	32.2 ± 24.1	5.5	139.7
P-Bray	Mg kg <sup>-1</sup>	19.6 ± 15.9	0.15	62.94

Valor medio y desviación típica obtenidos de todos los suelos ribereños colectados a 1 y 5 m de distancia al cauce.

Los valores extremos del CO de SR fueron 5 y 300 Mg.ha<sup>-1</sup> y su promedio de 62.5 a 63.6 Mg.ha<sup>-1</sup> para suelos a 1 y 5m del arroyo y para SBTR, fue mayor de 80 Mg.ha<sup>-1</sup>. La diferencia (17 Mg.ha<sup>-1</sup>) se atribuyó al arrastre del caudal de agua con variaciones temporales que lavan el borde del suelo y reducen el CO en esta parte del sistema. El valor del CO de mayor frecuencia (moda estadística)

mostró que los suelos a 5m de los arroyos tuvieron mayor contenido de CO (118 Mg.ha<sup>-1</sup>) que los ubicados a 1m (35.9 Mg.ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Efecto de la distancia al cauce sobre COS y otras variables edáficas.

Distancia al Cauce		CO	N-total	rCN	P-Bray	pH	C.E.
		Mg.ha <sup>-1</sup>			mg.kg <sup>-1</sup>	1:2 H <sub>2</sub> O	_dS.m <sup>-1</sup> _
1 m	Mín-Máx.	5.9–242.4	0.2-9.6	11:1-133:1	0.6–56.1	4.8-7.4	0.031–0.029
	Media	63.6 b	2.4 b	34.1 a	17.6 b	5.6 a	0.078 a
	± D. E	± 40.0	± 1.5	± 24.2	± 15.8	± 0.6	± 0.037
	Moda	35.9	1.2	34.1	13.1	6.3	0.112
5 m	Mín-Máx.	5–241.4	0.4–6.7	10:1–112:1	0.2–48.4	4.3-7.3	0.034–0.281
	Media	62.5 b	2.3 b	30.4 b	18.8 b	5.5 a	0.097 a
	± D. E	± 38.9	± 1.4	± 21.3	± 14.4	± 0.7	± 0.064
	Moda	118.8	2.2	13.3	37.5	6.1	0.069
más allá	Mín-Máx.	12.2–172.1	0.5–8.8	5:1–63: 1	1.2–62.9	4.3–6.8	0.043–0.277
De 5 m	Media	80.3 a	3.6 a	26.4 6 b	25.2 a	5.5 a	0.117 a
	± D. E	± 35.6	± 1.8	± 16.	± 17.6	± 0.7	± 0.091
	Moda	105.3	4.1	25.8	53.9	5.8	0.206

Entre columnas, promedios con letra diferente tuvieron diferencia significativa (Tukey, P<0.0001).

El análisis del CO contenido a uno y cinco metros del cauce y el de SBTR mostró una tendencia positiva con el incremento de altitud de 2400 a 3900m (Figura 1). El ANOVA mostró que el CO promedio del ambiente ribereño fue significativamente menor (63.5 Mg.ha<sup>-1</sup>) que el de SBTR (80.3 Mg.ha<sup>-1</sup>).

Los contenidos de CO descritos en los cuadros 3, 4 y figura 1, concuerdan en general con una referencia reciente sobre contenidos de CO en suelos del cinturón volcánico transmexicano, reportó cantidades equivalentes a 113 Mg ha<sup>-1</sup>, Balbontin *et al.* (2009).

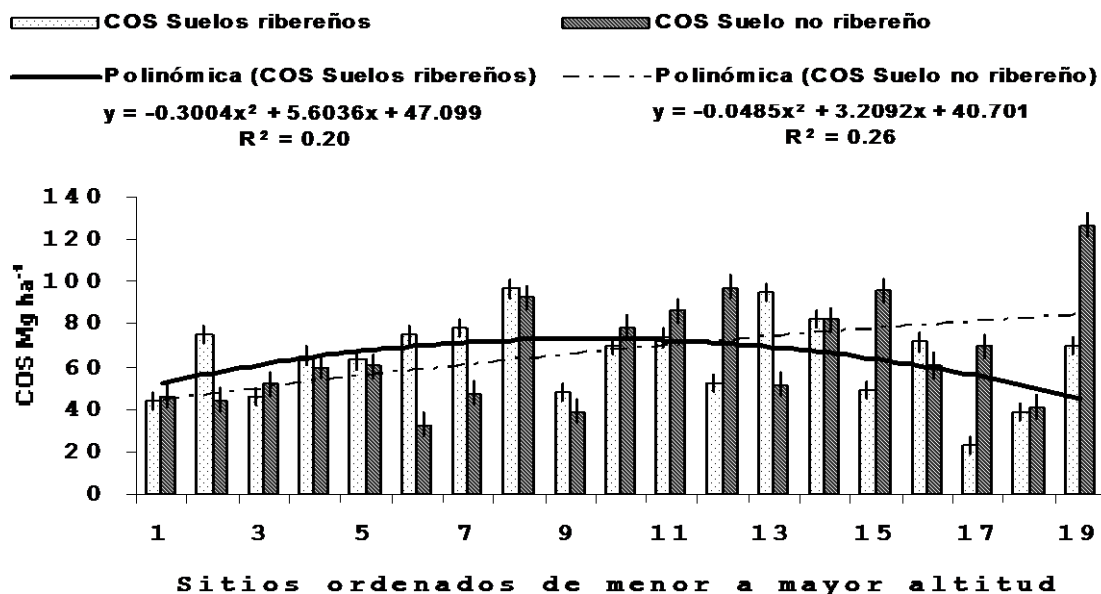


Figura 1. Contenidos de COS en SR y SBTR respecto al gradiente altitudinal (2400-3900m).

El N<sub>total</sub> se encontró con tendencia similar a la del CO en SR y SBTR con diferencia significativa entre suelos distantes a 1 y 5m en comparación al mayor contenido de N<sub>total</sub> encontrado en SBTR.

La razón C:N tuvo amplio intervalo en suelos distantes a 1m del cauce (11:1 a 132:1) y estuvo entre 10:1 y 112:1 en suelos a 5m del arroyo mientras que en SBTR fue de 5:1 y 62:1 (Cuadro 4). El ANOVA y prueba de Tukey para C:N mostraron que los SR a 1m del arroyo son diferentes significativamente respecto a los ubicados a 5m y los SBTR (P<0.0001). En suelos con razón C:N, 11:1, 10:1 o 5:1 se presenta adecuada tasa de retorno de nutrientes contenidos en la MOS (Baker III *et al.*, 2001) a diferencia de valores como 132:1, 112:1 o 62:1, causantes de lenta mineralización y liberación de nutrientes (Bijayalaxmi *et al.*, 2006).

En cuanto a concentración de P<sub>disponible</sub> no hubo diferencia significativa (P<0.0001) entre SR a 1 y 5 m del cauce pero ambos sí la tuvieron con SBTR más ricos en P<sub>disponible</sub> (Cuadro 4).

El análisis hidrológico del caudal mostró gasto de caudal y velocidad de corriente disminuidos, pero el agua del caudal se encontró con apariencia limpia y cristalina generalmente por su baja concentración de sólidos disueltos y suspendidos (Cuadro 5). Los sitios se conservan fríos o templados aún en verano (temperaturas media del agua y ambiental 9.3 y 12.9°C).

Cuadro 5. Máximos y mínimos de propiedades físico-químicas del agua Río Amecameca, PN-IP.

Variable	Unidades	Media ± Desv. Típica	Mínimo	Máximo
Gasto caudal	m <sup>3</sup> seg <sup>-1</sup>	0.07 ± 0.08	0.001	0.4
Velocidad de corriente	m seg <sup>-1</sup>	0.4 ± 0.2	0.02	0.9
pH	Unidades de pH	6.6 ± 0.7	5.2	8.2
C.E.	µS.m <sup>-1</sup>	88.3 ± 56.2	25.0	204.0
TDS	mg L <sup>-1</sup>	44.97 ± 28.5	13.0	101.0



Temperatura ambiente	°C	12.91	12	26
Temperatura agua	°C	9.35	6.40	18.70
Sólidos suspendidos	mg L <sup>-1</sup>	0.184 ± 0.03	0	0.70
Oxígeno disuelto	mg L <sup>-1</sup>	5.6 ± 1.7	1.0	7.9
DBO <sub>5</sub>	mg L <sup>-1</sup>	3.7 ± 2.0	0	8.2
D.Q.O	mg L <sup>-1</sup>	117.1 ± 105.5	7.0	315.7
Alcalinidad	CaCO <sub>3</sub> mg L <sup>-1</sup>	237.5 ± 45.8	4.0	2260
Dureza total	CaCO <sub>3</sub> mg L <sup>-1</sup>	39.8 ± 25.2	14.1	166.8
Dureza de calcio	CaCO <sub>3</sub> mg L <sup>-1</sup>	24.7 ± 11.9	9.8	47.7
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg L <sup>-1</sup>	80 ± 60	10	240
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> µg L <sup>-1</sup>	33.0 ± 11	0	116
Fósforo total	µg L <sup>-1</sup>	220 ± 190	100	900
Sulfatos	mg L <sup>-1</sup>	0.12 ± 0.09	0.01	0.32
Cloruros	mg L <sup>-1</sup>	0.01 ± 0.05	0.01	0.31

Excepto la Cañada Amalacaxco (3520 m) cercana a manantiales, se encontró alta nivel de oxígeno disuelto debido a frecuentes “saltos de agua” en pequeñas y medianas cascadas. La DBO<sub>5</sub> promedio (3.7 mg.L<sup>-1</sup>) es prueba de una excelente calidad del recurso hídrico pero poco productivas por baja concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, P-total y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y catalogaron como aguas de blandas a muy duras por su concentración de Ca (Wetzel, 2001).

En la descripción del grado de asociación entre propiedades de SR con las del agua, mediante correlación simple, destacaron las relaciones entre P<sub>-disponible</sub> con TDS, Dureza total, sulfatos, P-total y gasto de caudal del agua. El COS y N<sub>-total</sub> presentaron baja asociación con las propiedades del agua mientras que la razón C:N no tuvo ninguna asociación (Cuadro 6).

Cuadro 6. Correlaciones entre variables originales de agua con COS y otros parámetros del suelo.

Prop. agua	COS	N-total	rCN	P-Bray	Prop. agua	COS	N-total	rCN	P-Bray
TDS	0.06	0.17	-0.01	0.60**	NH <sub>4</sub>	-0.14	-0.06	-0.09	0.27*
OD	0.22*	0.17	0.15	0.25*	Cl	0.2	0.29*	0.03	0.01
DBO <sub>5</sub>	0.23*	0.24*	0.07	0.26*	D. Ca	0.01	0.14	-0.03	0.42*
DQO	-0.18	-0.22*	-0.08	-0.27*	D. tot	0.08	0.19	0.02	0.65**
pH	0.11	0.14	0.06	0.43*	Alc_Tot	0.16	0.14	0.06	0.43*
CE	0.06	0.17	-0.01	0.61**	P-total	-0.20*	-0.26*	-0.06	-0.47*
SO <sub>4</sub>	-0.27*	-0.38*	-0.09	-0.71**	Orto-P	-0.04	0.06	-0.06	0.21*
NO <sub>3</sub>	0.05	0.13	0.01	-0.02	Vel_caud	0.02	0.1	-0.17	0.31*
NO <sub>2</sub>	-0.15	-0.2	0.03	-0.18	Ga_caud	0.12	0.24*	-0.03	0.68**

TDS=Sólidos totales disueltos; OD=oxígeno disuelto; DBO<sub>5</sub>=Demanda biológica de oxígeno; DQO=Demanda Bioquímica de oxígeno; pH=Potencial de hidrógeno del agua; CE=Conductividad eléctrica; SO<sub>4</sub>=sulfatos; NO<sub>3</sub>=nitratos; NO<sub>2</sub>=nitritos; NH<sub>4</sub>=amonio; Cl=Cloruros; D. Ca=Dureza de calcio; D. tot=Dureza total; P-total=Fósforo total; Orto-P=ortofosfatos; Alc\_Tot=alcalinidad total; Vel\_caud=velocidad de caudal; Ga\_caud=Gasto de caudal; COS=Carbono orgánico del suelo, rCN=razón C:N. (\*\*, p≤0.0001); (\*, p≤0.05).

Para precisar el grado de asociación entre propiedades fisico-químicas del agua en arroyos con las de SR, se realizaron ACC con valores originales de dieciocho parámetros del agua y cuatro de SR (total 625 observaciones). En la primera correlación canónica (0.9126,  $p < 0.0001$ ) que contribuyó en 84% al grado de asociación entre el grupo de propiedades fisicoquímicas del agua con las propiedades de SR, sobresalió positivamente la acción de la conductividad eléctrica (38.339) y gasto de corriente (14.801) y con signo negativo de su coeficiente canónico (variables supresoras), las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  (-17.35),  $\text{SO}_4^{2-}$  (-6.7) y  $\text{NH}_4^+$  (-6.5) entre otras sobre el COS,  $\text{N}_{\text{-total}}$ , razón C:N y  $\text{P}_{\text{-disponible}}$ . La segunda variable de correlación canónica (0.574,  $p < 0.0001$ ) contribuyó con 8% (acumulando hasta 92% de la asociación de propiedades del agua con las de suelos), mostró a la concentración de cloruros y conductividad eléctrica con contribución positiva (16.72 y 32.8) y con efecto supresor, nuevamente a los  $\text{NO}_3^-$  y ortofosfatos (-34.23 y -20.781). Entre las propiedades del suelo, solo  $\text{N}_{\text{-total}}$  y  $\text{P}_{\text{-disponible}}$  tuvieron efecto positivo sobre el grado de asociación con las propiedades del agua (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** ACC entre variables del agua con COS,  $\text{N}_{\text{-total}}$  razón C:N y  $\text{P}_{\text{-Bray}}$  de SR.

Variable canónica	1	2	3	4	Variable canónica	1	2	3	4
Eingenvvalor	4.98	0.49	0.25	0.20					
Proporción	0.8403	0.0828	0.0426	0.0344					
Correlación	0.9126	0.5738	0.4491	0.4117					
$P_{r>F}$	<0.0001	<0.0001	0.0002	0.0103					
<b>Variables Fis. y Quím. del agua<sup>§</sup></b>					<b>Variables del suelo<sup>‡</sup></b>				
TDS	-0.211	0.018	0.005	0.370	COS	-0.0029	0.0021	0.0045	-0.042
OD	-0.291	1.001	-1.228	-2.15	$\text{N}_{\text{-total}}$	0.06190	0.4361	0.3775	0.8237
DBO5	-0.329	-0.538	-0.299	0.009	rCN	0.00340	0.0379	-0.024	0.0510
DQO	0.002	0.003	0.0296	-0.019	$\text{P}_{\text{-Bray}}$	0.05356	-0.017	-0.018	-0.006
pH $\text{H}_2\text{O}$	-0.549	0.193	1.370	0.682					
Alc total	0.0003	0.001	0.002	-0.002					
D Ca	0.025	-0.110	0.097	-0.068					
D total	0.161	-0.066	0.109	-0.009					
CE	38.34	16.719	-30.47	-125.7					
$\text{NO}_3^-$	-17.44	-34.23	30.632	3.542					
$\text{NO}_2^-$	0.0007	0.1108	-0.365	0.673					
$\text{NH}_4^+$	-6.465	-1.081	-18.60	-20.58					
P-total	1.775	8.636	-9.289	-2.00					
Ortofosfatos	-7.187	-20.78	17.671	14.14					
$\text{SO}_4^{2-}$	-6.695	-4.846	-1.922	-10.39					
Cl <sup>-</sup>	4.930	32.761	-3.429	0.328					
Vel. de corriente	1.327	-2.871	2.321	3.199					
Gasto de corriente	14.80	6.317	-0.437	-14.68					

<sup>§</sup> Coeficientes canónicos planos para 'variables originales agua'

<sup>‡</sup> Coeficientes canónicos planos para 'variables originales suelo'

La correlación entre variables canónicas (V1) con variables originales de agua y suelo, confirmaron que gasto de corriente (0.7476), dureza total (0.7066) y TDS (0.6586), además de conductividad eléctrica (0.6621) del agua, se asociaron positivamente con  $\text{N}_{\text{-total}}$ , 0.3988;  $\text{P}_{\text{-disponible}}$ , 0.9948 y en menor grado el COS, 0.2552 del suelo (Cuadro 8). También las correlaciones entre variables originales de SR con variables canónicas de propiedades del agua (variable canónica "Agua 1"), demostró los efectos positivos de  $\text{P}_{\text{-Bray}}$  (0.9079),  $\text{N}_{\text{-total}}$  (0.3640) y del COS (0.2330) y el efecto supresor de la razón C:N (-0.0160) sobre el grado de asociación entre parámetros de suelo con las propiedades del agua (Cuadro 9).

**Cuadro 8.** Correlaciones entre variables del agua y de SR con sus variables canónicas (V1, W1).

Variables del agua del Río Amecameca	V1	Variables del suelo <sup>‡</sup>	W1
TDS	0.6586	COS	0.2552
OD	0.3024	$\text{N}_{\text{-total}}$	0.3988
DBO5	0.3113	rCN	-0.018
DQO	-0.320	$\text{P}_{\text{-Bray}}$	0.9948
pH $\text{H}_2\text{O}$	0.4717		
Alc. total	-0.021		

D Ca	0.4624
D total	0.7066
CE	0.6621
NO <sub>3</sub>	-0.001
NO <sub>2</sub>	-0.207
NH <sub>4</sub>	0.2705
P-total	-0.533
Ortofosfatos	0.2280
SO <sub>4</sub>	-0.799
Cl	0.0434
Vel caudal	0.3198
Gasto de caudal	0.7476

Cuadro 9. Correlaciones de variables originales de SR y variables canónicas del agua.

	Variable canónica	Agua	Variable canónica	Variable canónica	Variable canónica
	1		Agua 2	Agua 3	Agua 4
COS	0.2330		0.4554	0.0810	-0.2150
N-total	0.3640		0.2046	0.3764	0.0442
C:N	-0.0160		0.4014	-0.3203	-0.0174
P-Bray	0.9079		-0.0566	-0.0107	-0.0048

El ACC ha demostrado eficiencia en investigaciones ecológica (Serrato *et al.*, 1999) y cuencas, describiendo el grado de asociación entre variables edáficas e hidrológicas (Pires *et al.*, 2001) y en esta investigación, no obstante la complejidad del sistema suelo-agua, el ACC mostró su utilidad al confirmar que al aumentar las concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> del agua hubo disminuciones de COS, N<sub>-total</sub>, la razón C:N y del P<sub>-disponible</sub> por posibles pérdidas de materia orgánica del suelo que al llegar al agua elevan la concentración de NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.

## CONCLUSIONES

En SR los contenidos de CO se incrementaron con la altitud y fueron mayores donde hubo mayor densidad de las familias Asteraceae, Rosaceae y Caryophyllaceae.

El contenido de COS no presentó diferencia significativa entre SR (distancias 1 y 5m) pero si la hubo, entre estos y con los SB-TR.

El menor contenido de COS (<5 Mg.ha<sup>-1</sup>) de ambientes ribereños, se encontró en sitios con acceso turístico (cruce de caminos), con cajas de almacenamiento, actividades pecuarias, etc. y los más altos (>240 Mg.ha<sup>-1</sup>) fueron encontrados en cañadas profundas con paredes escarpadas y acceso limitado por una abundante vegetación.

El ACC mostró su eficacia al confirmar estadísticamente que incrementos de nitratos, amonio y sulfatos en agua se corresponden con pérdida de COS, N<sub>-total</sub> y P<sub>-disponible</sub> (P-Bray I).

Conductividad eléctrica del agua, gasto de corriente y dureza total, tuvieron efecto positivo sobre el grado de asociación con variables del suelo.

N<sub>-total</sub> y P<sub>-disponible</sub> además del COS están entre las variables edáficas que aportaron efecto positivo al grado de asociación entre el grupo de parámetros de suelo ribereño con los del agua.

## REFERENCIAS

- Aparicio M., F.J. 1994. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, Grupo Noriega Editores. México. 303 p.
- APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WPCF (Water Pollution Control Federation). 2012. Standar Methods for analysis of water and wastewater. USA. 1816 p.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. Última actualización: viernes 19 diciembre, 2008.

- Baker III T.T., B.B. Lockaby, W.H. Conner, T.E. Meier, J.A. Stanturf, and M.S. Burke. 2001. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in four southern forested floodplain communities. *Soil Science* 65: 1334-1347.
- Balbontin C. C. O. Cruz, F. Paz, and J. Etchevers. 2009. Soil Carbon sequestration in different ecoregions of México. pp 71-96 In: *Soil Carbon sequestration and the greenhouse effect*, 2nd edition. SSA Special Publication 57. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin USA.
- Berka C., H. Schreier and K. Hall. 2001. Linking water quality with agricultural intensification in a Rural Watershed, *Water Air Soil Pollut* 127 1-4: 389-401.
- Bijayalaxmi N. D. and P. S. Yadava. 2006. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-east India. *Applied Soil Ecology*. 31 (3) 220-22.
- CHALLENGER A. 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México su estado de conservación. <http://www2.ine.gov.mx/publicaciones/libros/395/challenger.html>. Consultado, 27 de julio del 2009.
- CONANP, 2008. <http://iztapopo.conanp.gob.mx/problematika.php>.
- CONANP, 2010. [http://www.conanp.gob.mx/parques\\_nacionales.html](http://www.conanp.gob.mx/parques_nacionales.html).
- Corbacho, C., Sánchez, J.M., Costillo, E. 2003. Patterns of structural complexity and human disturbance of riparian vegetation in agriculture landscapes of a Mediterranean area. *Agriculture, Ecosystems and Environ.* Universidad de Extremadura, Spain. 13: 495-507.
- Escalante T., Rodríguez G. y J. J. Morrone. 2005. Las provincias biogeográficas del componente mexicano de montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 76 (002) 199-205.
- INEGI, 2009. Principales suelos en México. <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/fisigeo/principa.cfm>
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change, *Geoderma* 123 (2): 1-22.
- Legorreta J. 2010. Ríos, lagos y manantiales del Valle de México. UAM, GDF. Secretaría del Medio Ambiente. México, D. F. 365 p.
- Macías J. L. 2005. Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Temas Selectos de la Geología Mexicana. Tomo LVII, Núm. 3: 379-424.
- NOM-021-RECNAT 2000. NORMA OFICIAL MEXICANA. (Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis).
- Pires A. D.S., S. Imhoff, N. F. B. Giarola y C. A. Tormena. 2001. Análisis multivariado y univariado en la discriminación de sistemas de uso de suelos del Centro de Santa Fe. *Edafología* 8: 21-34.
- Purakayastha, T.J., Huggins, D.R. and J.L. Smith. 2008. Carbon Sequestration in Native Prairie, Perennial Grass, No-Till, and Cultivated Palouse Silt Loam. *Soil Science Society of America Journal* 72: 534-540.
- Robins, J. D., Cain J. R. 2002. The past and present condition of the Marsh Creek watershed. Berkeley, CA: Natural Heritage Institute. 71p.
- Sánchez-González A. y López-Mata L. 2003. **Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal.** *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 74(1): 47-71.
- SMN, 2010. <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/precipitacion/lluv-media-a.html>. 29-03-2010.
- Serrato S. R., C.M. Valencia C. y F. del Río O. 1999. Interrelaciones entre variables del suelo y de las gramíneas en el pastizal.
- Solberg, B., 1997. Forest biomass as carbon sink—economic value and forest management/policy implications. *Critical Rev. Env. Sci. Tech.* 27: 323-333, special issue.
- Villa B. y F. A. Cervantes. 2003. Los mamíferos de México. Instituto de Biología, UNAM-Grupo Editorial Iberoamérica, México, D. F. 140 p.
- Wetzel R.G. 2001. *Limnology. Lake and river ecosystems*. Third edition. Academic Press. USA. 1006 p.



HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS DE SOPORTE A LA TOMA DE DECISIONES PARA EL  
MANEJO DE CUENCAS



# USO DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Hugo GONZALEZ LARA<sup>a</sup>, Luis Gerardo ARVIZU COBOS<sup>a</sup>,

Miguel Angel DOMÍNGUEZ CORTAZAR<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Alumno del curso de Hidrología,

<sup>b</sup> Profesor de Hidrología, Fac. de Ingeniería, [migueld@uaq.mx](mailto:migueld@uaq.mx)

Universidad Autónoma de Querétaro

## RESUMEN

La descripción de los elementos abióticos de una cuenca es una de las primeras etapas en estudios de ordenamiento territorial, hidrológicos o hidráulicos o para la elaboración de planes de manejo, por citar solo algunos de ellos. Una descripción adecuada de estos elementos requiere la obtención de parámetros morfométricos como: tamaño, perímetro, ancho y pendiente, longitud, jerarquización de corrientes, entre otros parámetros de relieve y forma como lo es también la curva hipsométrica o el coeficiente de Gravelius. Tradicionalmente, el cálculo de tales parámetros se hace con el apoyo de mapas topográficos a escala conveniente (pe, 1:25,000 o 1:5000 ). Los valores que toman estos parámetros reflejan en buena medida la respuesta hidrológica de las cuencas, por lo que su determinación en etapas iniciales de un análisis hidrológico no solo es recomendable sino necesario. A través de ellos se comprende de una mejor manera cómo funciona una cuenca para recolectar la lluvia, la manera en que ésta se transforma en escurrimiento y sobre todo cómo es conducida hacia un punto de salida; aún mas, el análisis de sus propiedades morfológicas nos proporcionan una descripción física espacial que facilita su comparación con otras cuencas hidrográficas. Con la aparición de los llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG), el cálculo de estos indicadores morfométricos es hoy en día más preciso y eficiente, ya no se requiere de la cartografía clásica de curvas de nivel en formato papel, y aunque la experiencia de quién realiza estas tareas siempre es indispensable, con el empleo de un SIG se obtiene mayor consistencia en los resultados. Así, los dos objetivos de este trabajo es: utilizando un software de código abierto, mostrar el uso de tales herramientas y su aplicación en un estudio de caso, ambos objetivos se corresponden con el desarrollo de uno de los talleres de aplicación práctica del curso de Hidrología del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Querétaro.

**Palabras clave:** SIG, gvSIG, morfometría, caracterización física de cuencas, índices morfométricos, SIATL

## 1 INTRODUCCIÓN

Por definición, una cuenca hidrográfica es una unidad territorial compuesta de una gran diversidad de componentes bióticos y abióticos que interactúan entre sí. Desde un contexto hidrológico, si este territorio fuera completamente impermeable, el agua que recibiría por precipitación se transformaría casi totalmente en escurrimiento, el cuál drenaría pendiente abajo para concentrarse y salir en uno y solo un punto de salida. El tamaño y la forma de la cuenca, por mencionar solo dos de los indicadores morfométricos, condicionan de manera determinante su comportamiento hidrológico, sobre todo en aspectos esenciales como es el tiempo de respuesta, el caudal máximo o el volumen de escurrimiento, entre otros. Por otra parte, el análisis de estos indicadores puede permitir transferir datos de un cuenca a otra, lo que resulta de vital importancia donde existe poca o nula información.

Para el estudio y determinación de los parámetros geomorfológicos se requiere no solo de una buena base de información topográfica, sino también de herramientas modernas que faciliten el cálculo y hagan más eficiente estas primeras etapas de los estudios hidrológicos. Por otra parte, es una obligación de los programas educativos mantenerse siempre actualizados en los avances científicos y tecnológicos y que éstos sean transmitidos a las nuevas



generaciones de estudiantes. Por ello, en el curso de Hidrología de 7º semestre de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, se tiene contemplado el desarrollo de talleres de aplicación práctica con el uso de herramientas informáticas modernas. De éstas se tiene como premisa el uso de programas de código abierto, lo que evita el uso indiscriminado de licencias comerciales sin autorización. Con estas premisas, el desarrollo de este trabajo fue elaborado con el programa gvSIG de uso libre, así como el apoyo de sistemas de visualización y consulta de información geográficamente referenciada como es Google-Earth y el Simulador de Flujos de Aguas de Cuencas Hidrográficas de INEGI, la aplicación de estas herramientas en la caracterización geomorfológica es mostrado a través del cálculo de seis parámetros morfométricos para la cuenca de la presa “El Carmen” en el estado de Querétaro.

## 2 MARCO TEORICO

Las propiedades morfométricas son utilizadas para realizar la descripción cuantitativa física de las cuencas hidrográficas. Los antecedentes de estudios morfométricos de cuencas hidrográficas y de su red de drenaje comenzaron a tener relevancia a partir de los trabajos de Horton a mediados del siglo pasado. Este autor desarrolló indicadores que permiten describir cuantitativamente las propiedades morfométricas de las cuencas y su relación con los procesos hidrológicos que regulan el escurrimiento. Algunos de los parámetros relevantes que Horton utilizó para el análisis morfométrico están asociados con la longitud de los ríos y cursos de agua, el área, la longitud, anchura y relieve de las cuencas. A partir de los trabajos de Horton, otras contribuciones permitieron desarrollar nuevos indicadores de forma como son la relación de bifurcación, el índice de compacidad, la jerarquización de Strahler o la curva hipsométrica, por mencionar solo algunos de ellos. La importancia de estos indicadores no solo se acota a la fase descriptiva de las cuencas, a través de ellos se pueden extraer conclusiones relativas a la propia geodinámica de la cuenca; por ejemplo, el análisis de las propiedades del sistema fluvial permite deducir cualitativamente la interacción entre el sistema de drenaje y algunas de las características ambientales como son la pendiente, vegetación dominante, formas del relieve, capacidad de transporte de sedimentos, etc. Por las limitaciones de espacio, en este trabajo se aborda solo algunos de estos indicadores y la forma de obtenerlos con ayuda del software gvSIG.

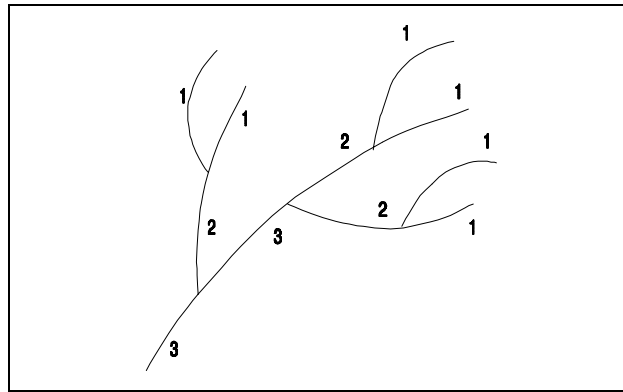
### 2.1 JERARQUIZACION DE CORRIENTES

Horton propuso un sistema de jerarquización de las corrientes que integran a una red de drenaje que se conoce como índice de Horton, pero Strahler lo revisó y perfeccionó dando lugar al esquema de ordenación o de clasificación de Horton-Strahler. Se trata de un sistema de jerarquización que subdivide los distintos cursos de agua que integran la red de drenaje superficial en segmentos de cauce clasificados en función del orden de magnitud de los mismos.

En su determinación se recomienda seguir los siguientes criterios (figura 1):

- 1) se asigna el orden 1 a las corrientes que no presentan ningún tributario, es decir a las cabeceras de la red de drenaje.
- 2) al juntarse dos corrientes de orden “i” da lugar a una corriente de orden “i+1”.
- 3) cuando se juntan corrientes de diferentes ordenes, la corriente resultante tomará el valor de mayor orden.

Corrientes de mayor orden en la jerarquía de Horton-Strahler corresponderán a una red más densa y comunicada y por ende a cuencas de menor tiempo de respuesta hidrológica.



**Figura 1.** Sistema de jerarquización de Horton-Strahler

(tomado de: //webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4\_Geomorfologia.pdf).

## 2.2 RELACIÓN DE BIFURCACION

Este parámetro, obtenido por Horton, establece la razón entre el número de cauces de orden “*i*” y los de orden “*i+1*”, se expresa por medio de la ecuación:

$$R_b = \frac{N_i}{N_{i+1}}, \quad (1)$$

Donde,

$R_b$ , es la relación de bifurcación,

$N_i$ , es el número de corrientes de orden “*i*”,

$N_{i+1}$ , es el número de corrientes del orden inmediato superior.

Esta relación permite comprender algunas variaciones geocológicas que se producen en una cuenca, fundamentalmente cambios importantes en el sustrato rocoso, en las características de los grupos de suelos dominantes y en la cobertura vegetal, ya que estas variables son condicionantes en la formación de los ríos y arroyos. Así, cuencas cuya relación de bifurcación permanece constante, indican homogeneidad en las características geocológicas anteriores. El valor de este parámetro comúnmente oscila entre 3 y 5, de suerte que cambios importantes en su valor indican variaciones considerables en las características geocológicas.

## 2.3 AREA DE DRENAJE

Se refiere a la superficie proyectada horizontalmente y que queda contenida entre el parteaguas de la cuenca. Es ampliamente aceptado que entre este parámetro y el escurrimiento existe una relación directa y proporcional. Su valor permite caracterizar a la cuenca en términos de la extensión territorial que cubre, el cuadro siguiente (tomado de Campos, 1998) muestra una de varias clasificaciones basadas en el área cubierta.

Tabla 1. Clasificación de la cuenca en función del área (Campos, 1984)

Proyección horizontal	Clasificación
<25 km <sup>2</sup>	Microcuenca
25 - 250 km <sup>2</sup>	Cuenca Pequeña
250 - 500 km <sup>2</sup>	Cuenca Intermedia pequeña
500 - 2500 km <sup>2</sup>	Cuenca Intermedia grande
2500 - 5000 km <sup>2</sup>	Cuenca Grande
>5000km <sup>2</sup>	Cuenca Muy grande

## 2.4 ÍNDICE DE GRAVELIUS

También es conocido como Coeficiente de Compacidad, relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de una cuenca teóricamente circular y de igual área. Se representa a través de la expresión siguiente:

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A_c}}, \quad (2)$$

Donde,  
*K*, Coeficiente de Compacidad,  
*P*, perímetro en km,  
*A<sub>c</sub>*, área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

A medida que el valor de este índice se encuentre más cerca de la unidad se considera que la cuenca tiene tendencia a la circularidad y por lo tanto es más compacta. La interpretación de este parámetro se puede entender en el sentido de que una cuenca circular tendrá una mayor probabilidad de producir avenidas grandes debido a su simetría de drenaje con tendencia radial, es decir una simetría en el patrón de escurrimientos. Por tanto, la forma de la cuenca y el modelo de drenaje se combinan para influenciar en la forma y el caudal pico del hidrograma de escurrimiento.

## 2.5 DENSIDAD DE DRENAJE

De manera semejante a la densidad poblacional, este indicador establece la relación entre la longitud total o acumulada de las corrientes entre el área total de la cuenca. El parámetro nos ayuda a definir los efectos y rapidez con el que el sistema de corrientes drena los escurrimientos de la cuenca, la expresión que lo calcula es:

$$D_d = \frac{\sum L_t}{A_c}, \quad (3)$$

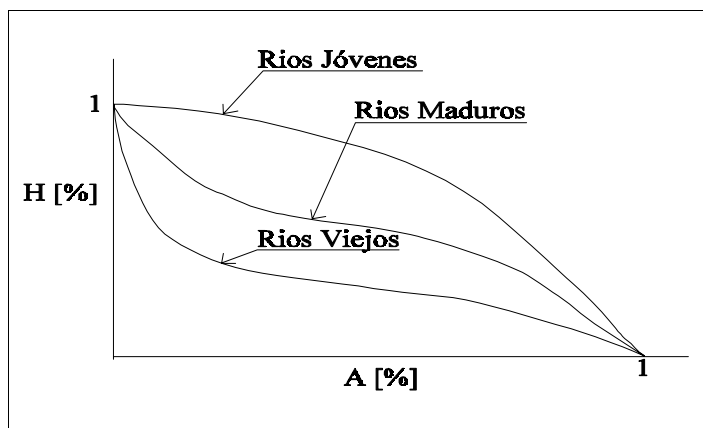
Donde,  
*D<sub>d</sub>*, es la densidad de drenaje en km/km<sup>2</sup>.  
 $\sum L_t$ , es la sumatoria de las longitudes de las corrientes que componen el sistema de drenaje de la cuenca en km.

En general se ha visto que los valores que toma este parámetro, con frecuencia se encuentra en el rango de 0.5 a 3.5 km/km<sup>2</sup>, por otra parte se puede interpretar como una medida que expresa el equilibrio entre el poder erosivo del caudal y la resistencia a la erosión expresada por las características geoecológicas del territorio de la cuenca. Los factores que controlan la densidad de drenaje son: litología del sustrato, permeabilidad del suelo y capacidad de infiltración, cobertura vegetal y tipo de la misma. Así, un valor cercano al límite superior indicaría sustratos más débiles, suelos relativamente impermeables o escasa cobertura vegetal, lo que a su vez podría correlacionarse con

una alta capacidad de transporte de sedimentos.

## 2.6 CURVA HIPSOMÉTRICA

Se trata de una curva que relaciona el área drenada y su variación con respecto a la altitud del terreno. La curva como tal se construye dibujando en el eje horizontal el porcentaje acumulado de áreas y en el vertical las altitudes correspondientes. Una curva hipsométrica puede darnos algunos datos sobre las características fisiográficas. Por ejemplo, una curva hipsométrica con concavidad generalizada y hacia arriba nos indica una cuenca con valles extensos y cumbres escarpadas y lo contrario indicaría valles profundos y sabanas planas. A la curva hipsométrica también se le puede asociar la temporalidad de las cuencas, así como su evolución en términos de la erosión que ha sufrido (figura 2). Así, el valor del área relativa que yace bajo la curva es indicativo del estado de desarrollo de la cuenca; valores superiores al 60 % indican desequilibrio manifiesto en el funcionamiento de la cuenca, esto significa cuencas poco erosionadas o en fase de juventud, valores cercanos al 47 % representan equilibrio (madurez), e inferiores a 30% implican fase de fuerte erosión o etapa de senectud (Racca, 2007).



**Figura 2.** Tipos de cuencas en función de sus curvas hipsométricas (tomado de [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4\\_Geomorfologia.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf)).

## 3 HERRAMIENTAS Y MATERIALES

El apartado anterior muestra solo algunos de los indicadores morfométricos que pueden obtenerse de una cuenca, para ellos, el insumo base es la cartografía de curvas de nivel. Hasta antes de principios de este siglo, el cálculo de estos indicadores se hacía (y quizás todavía) de forma manual, era común el empleo de herramientas como el planímetro para obtención del área de cuenca o el curvómetro para la longitud de ríos y corrientes de agua. Independientemente de la destreza de quién haga los cálculos, los procedimientos manuales siempre conllevan un nivel de incertidumbre, en muchos casos no solamente atribuible a la escala y precisión de los datos, sino también a la confiabilidad de los instrumentos utilizados, a esto hay que agregar lo laborioso y el tiempo prolongado que requieren estas determinaciones.

Con el advenimiento de la informática y los avances logrados en el área de la Geoinformática, sus herramientas y técnicas, se dio un gran avance en el cálculo de los parámetros asociados al terreno y el uso de los mapas en formato papel pasó a ser historia. Al uso de la cartografía de curvas de nivel le sustituyó el empleo de los llamados Modelos Digitales de Elevación (MDE), por otra parte, el empleo del planímetro y curvómetro fue sustituido con los llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En un contexto geoinformático, el Modelo Digital de Elevaciones constituye una particularidad de la familia de modelos que representan un atributo del terreno, estos son los llamados Modelos Digitales del Terreno (MDT), se

trata de un conjunto de datos numéricos almacenados digitalmente que describen la distribución espacial de una característica del territorio, ejemplos de éstos pueden ser: la pendiente, la orientación, el PH del suelo, etc. Así, los modelos digitales de elevación son un caso concreto, en el que la variable representada corresponde a la diferencia altitudinal entre un punto de referencia tomado como puede ser el nivel medio del mar y otro cualquiera de la superficie terrestre. La importancia de los Modelos Digitales de Elevación estriba en que pueden ser tratados numéricamente de forma sencilla y derivar de ellos una gran cantidad de información tanto cuantitativa como cualitativa. En la actualidad los MDT y en particular los MDE han alcanzado un amplio desarrollo no tan solo en su elaboración, sino también en las múltiples aplicaciones que de ellos se realizan. En general, cualquier Sistema de Información Geográfica actual, dispone de un módulo específico para la creación, manipulación y análisis de modelos digitales tanto generales como específicos de elevación. Por otro lado, actualmente la disponibilidad digital de insumos para la elaboración de modelos de elevación es tal que basta con acudir a una delegación del INEGI para obtener de manera gratuita la base de datos vectoriales de curvas de nivel (en formato DXF), o bien, descargar de la página Web de esta dependencia y de manera directa las porciones del Modelo Digital de Elevaciones (Continuo Mexicano de Elevaciones CME (2)) que para todo el país el INEGI ha elaborado y puesto a disposición de todo público para su descarga.

(<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>).

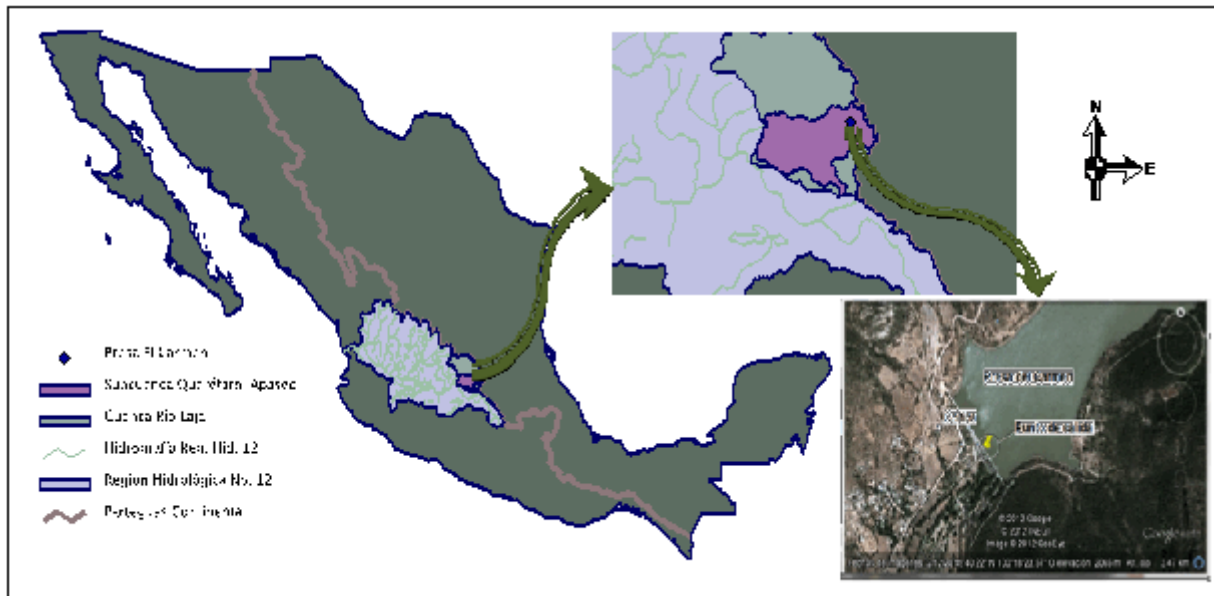
Por lo que toca a las herramientas de cálculo, existe en la actualidad una buena cantidad de software comercial que realizan las tareas típicas de un SIG, pero también es frecuente el empleo no autorizado de estas licencias, sobre todo en los ámbitos estudiantiles. Afortunadamente, el uso ilegal de estas licencias se puede sustituir con el empleo de software de código libre y entre ellos, el programa gvSIG sobresale porque dispone de una buena cantidad de funciones aplicables, entre otros, en el ámbito de la geomorfología y la hidrología de cuencas.

gvSIG Desktop es un programa informático para el manejo y análisis de información geográficamente referenciada y con precisión cartográfica que se distribuye bajo licencia libre. Permite acceder a información vectorial o rasterizada, así como a servidores de mapas que cumplan la especificaciones del llamado Consorcio Geo-espacial Abierto (OGC). El programa es el resultado de un proyecto de desarrollo informático impulsado en el año 2004 por la Consejería de Infraestructura y Transportes de la Generalidad Valenciana y la Unión Europea, desde entonces el proyecto se ha mantenido en desarrollo y en la actualidad está soportado por un conjunto de entidades (principalmente empresas y universidades) bajo la estructura de una asociación no lucrativa conocida como Asociación para la Promoción de la Geomática Libre y el desarrollo de gvSIG. La versión más actual de esta aplicación es la 1.12 y se puede descargar para cualquier sistema operativo directamente de la página <http://www.gvsig.com/>.

El empleo de esta herramienta se complementa convenientemente con otras disponibles en el mundo de la Geoinformática; de éstas, Google-Earth ofrece un incomparable apoyo para visualizar los resultados del análisis en un contexto visual con una calidad cada vez mayor. Se trata de una aplicación de uso gratuito que ofrece la posibilidad de sobreponer, por ejemplo, el trazado del parteaguas de una cuenca y visualizarlo en 3D en un contexto de imágenes satelitales en ocasiones de muy alta calidad. Las herramientas de visualización de esta aplicación resultan por demás interesantes para complementar un estudio geomorfológico, hidrológico o cualquier otro que involucre el análisis del territorio; el trazado de perfiles, la verificación de la línea divisoria de aguas o parteaguas de una cuenca, la identificación de áreas con degradación o los usos del suelo de un área o región, son solo algunos de los muchos ejemplos de lo que se puede obtener de Google-Earth como herramienta de apoyo y complementaria a cualquier SIG.

La tercera herramienta que conviene resaltar en el ámbito de este trabajo es el llamado Simulador de Aguas de Cuencas Hidrográficas (SIATL), se trata de una aplicación desarrollada por el INEGI y liberada en el año 2011 fruto de la depuración de la red hidrográfica del país en escala 1:50,000. Además, contiene indicadores de tipo

morfométrico para cada segmento de la red, como el orden de corrientes según la clasificación de Strahler, las longitudes de corrientes aguas arriba, aguas abajo y un identificador de secuencia, con los que se facilita tanto de forma visual como tabular el análisis de un sistema de drenaje a partir de un punto determinado. Una de sus mayores virtudes es quizás el poder ofrecer, en forma de capa descargable, una base de datos espacial y georeferenciada del sistema de drenaje, depurada y con la suficiente conectividad que asegura los resultados del trazado del parteaguas de una cuenca, así como una mayor precisión en el cálculo de indicadores que requieren de dicha conectividad como es la relación de bifurcación.

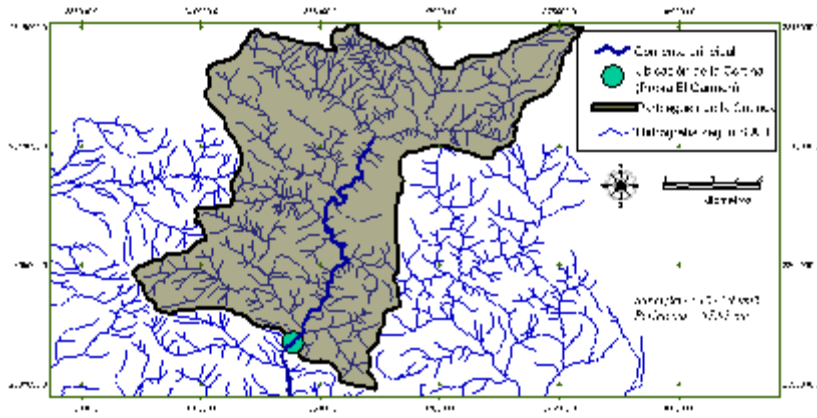


**Figura 3.** Localización de la presa El Carmen dentro de la región hidrológica Lerma-Chapala.

#### 4 RESULTADOS

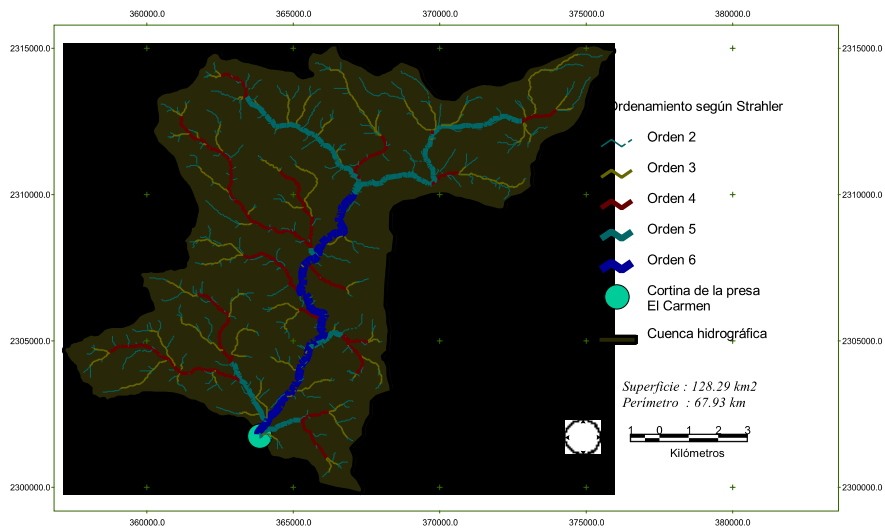
A fin de mostrar el uso de las herramientas ya descritas, se llevó a cabo el cálculo de los seis indicadores morfológicos en la cuenca de la presa “El Carmen” (figura 3). Se trata de una obra de almacenamiento localizada en el municipio de El Marqués, Querétaro, construida sobre el río El Pinal, tributario del río Querétaro. La presa fue construida a finales del siglo antepasado, pero su cortina fue sobre-elevada en 1980, en la actualidad posee una capacidad de almacenamiento del orden de los 5 millones de m<sup>3</sup>.

El primer resultado de la aplicación de un SIG en la caracterización de una cuenca es precisamente la delimitación de su línea divisoria o parteaguas. Sin importar el software que se utilice el procedimiento es, en términos generales, el mismo y se procede de manera secuencial; es decir, se parte del Modelo Digital de Elevaciones para obtener las direcciones que toma el agua cuando drena a través de las celdas que componen el raster de elevación, posteriormente se obtiene la acumulación del flujo, es decir la cantidad de celdas que procediendo de cuenca arriba se acumulan a una celda en particular, posteriormente, y definiéndose un umbral mínimo de esta acumulación, se generan las áreas tributarias que definen cada sistema de drenaje, esto es las cuencas de drenaje. En el caso de gvSIG, la herramienta sextante presenta una aplicación exclusiva para estos



**Figura 4.** Parteaguas de la cuenca de la Presa El Carmen.

procesos y el resultado para el caso de estudio es mostrado en la figura 4. En esta figura se puede observar la buena correspondencia entre la línea del parteaguas y la hidrografía descargada del sistema SIATL del INEGI; asimismo, gvSIG permite el cálculo del área y el perímetro de la cuenca, dos parámetros relevantes en el cálculo de los indicadores morfométricos. De acuerdo a los valores de la tabla 1, la cuenca queda entonces clasificada como cuenca pequeña.



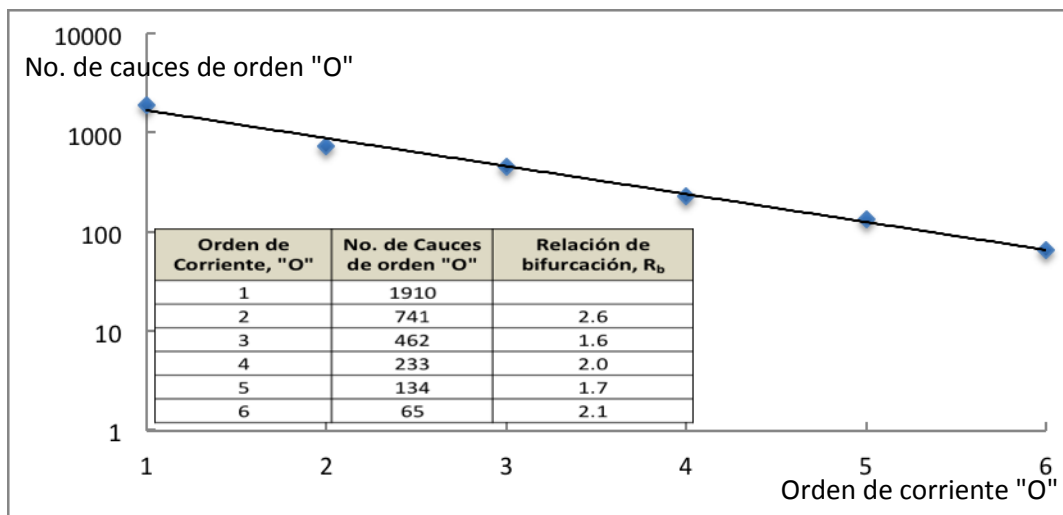
El siguiente resultado corresponde a la jerarquización de las corrientes de acuerdo con el procedimiento de

**Figura 5.** Jerarquización de corrientes con el método de Horton-Strahler.

Horton-Strahler, gvSIG cuenta con la herramienta específica para este cálculo a través de la extensión Sextante, sin embargo, también se puede utilizar el ordenamiento que el mismo sistema SIATL trae incorporado en la red

hidrográfica descargable, para este último caso la figura 5 muestra la jerarquización correspondiente.

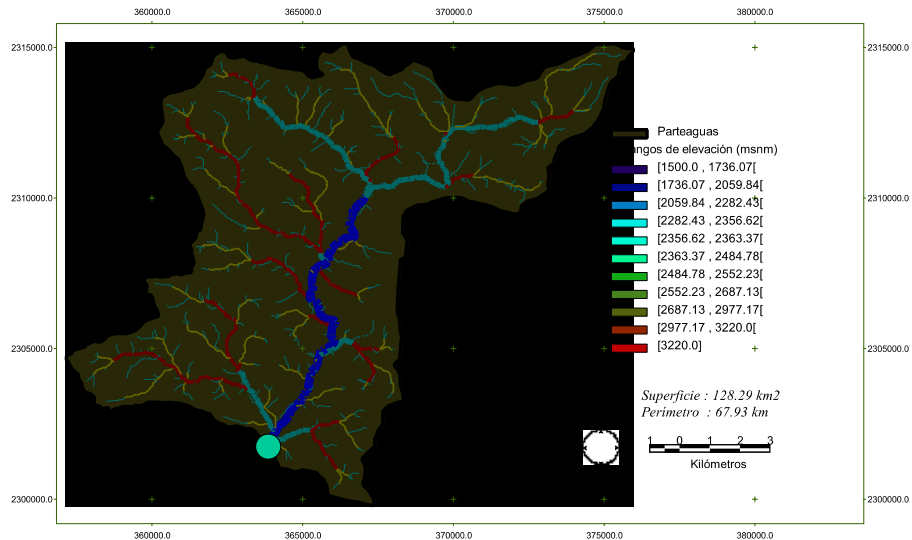
Con respecto a la relación de bifurcación, la tabla y figura siguientes muestran los resultados obtenidos a partir de la jerarquización de ordenes de corriente y la aplicación de la ecuación 1, este no es un indicador que se obtenga directamente de gvSIG, pero su cálculo es inmediato con base en la tabla de atributos del mapa mostrado en la figura 5. El valor promedio de este parámetro resulta de 2.0, lo que estaría indicando una cuenca de baja torrencialidad. Por otra parte, al representar en una gráfica semilogarítmica el número de cauces versus el número de orden, se observa que éstos se alinean sobre una recta, lo que indica que en la cuenca de estudio se cumple lo que Horton denominó la Ley del Número de Cauces (Campos, 1998).



**Figura 6.** Relación de bifurcación y ley de Horton sobre el número de cauces.

En relación al índice de Gravelius, el cálculo de la ecuación 2 con los valores de área y perímetro de cuenca, arroja un valor de 1.7, lo que indica que su forma es más alargada que circular, de hecho como se puede ver en la figura 4, la cuenca presenta una forma con tendencia hacia un rectángulo, desde este punto de vista la interpretación hidrológica indicaría que la cuenca no presenta hidrogramas de escurrimiento de corta duración y con gastos picos muy elevados.





**Figura 7.** Modelo Digital de Elevaciones de la cuenca Presa del Carmen.

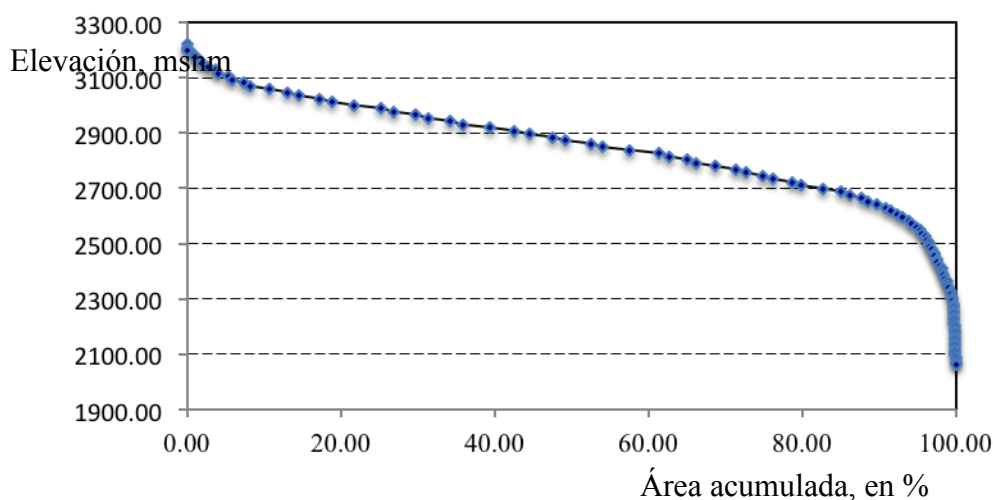
Por lo que toca a la densidad de drenaje, la herramienta “red de drenaje” de gvSIG arroja también, para cada tramo de cauce, la longitud correspondiente, por tanto el cálculo de la ecuación 3 es una consecuencia del resultado ya mostrado en la figura 5, el valor obtenido para la cuenca estudiada es de 5.3 km/km<sup>2</sup>, lo que estaría indicando una cuenca bien drenada, pero con baja bifurcación.

Con relación a la curva hipsométrica, gvSIG contiene en su caja de herramientas Sextante, el algoritmo necesario para la determinación de esta curva, el insumo necesario es el Modelo Digital de Elevaciones de la cuenca (véase la figura 7) y a través de éste se obtiene el cálculo de las frecuencias para rangos distintos de elevación. Aunque la aplicación no aporta la curva hipsométrica como tal, ésta se puede obtener, vía Excel o a cualquier hoja de cálculo, a partir de la tabla de frecuencias. El resultado para la caso de estudio se muestra en la figura 8. Como se puede ver, la hipsometría muestra una distribución de áreas unimodal, donde las elevaciones mayores predominan sobre las menores, la elevación media se ubica a la cota 2900 msnm y más del 90% de la cuenca se encuentra por encima de la cota 2500 msnm. Se trata entonces de una cuenca típica en fase de desequilibrio con un nivel de erosión bajo, característica de cuencas de montaña con relieves altos y ríos jóvenes.

## 5 CONCLUSIONES

La caracterización y diagnóstico de una cuenca hidrográfica involucra áreas disciplinares distintas (Socioeconomía, Hidrología, Fisiografía, etc.) y constituye una base indispensable para el abordaje de planes de ordenamiento

territorial, manejo y gestión hídrica o para el manejo integrado de sus recursos naturales. En el contexto hidrológico y geomorfológico de una cuenca, se trata de un inventario dirigido principalmente a cuantificar las variables físicas que ayuden a entender el comportamiento de la cuenca como sistema y la interrelación entre éstas y la componentes biofísica y socioeconómica. Un elemento central en dicha cuantificación es poderlo realizar de una manera rápida, pero eficiente y precisa; para ello, el uso de herramientas informáticas de última generación es un camino cada vez más transitado y particularmente útil en los casos en que se requiera analizar comparativamente dos o más cuencas. Entre las herramientas mas utilizadas para este tipo de trabajos sobresale la conocida suite de ArcGis de la compañía ESRI. Por otra parte es un secreto a voces que tanto en los ámbitos académicos como profesionales, existe un uso indiscriminado de licencias no autorizadas. En buena medida esta práctica obedece a causas económicas ligadas al costo de licencias privativas y que las universidades, principalmente públicas, con frecuencia tienen dificultades para mantenerlas actualizadas. En muchas ocasiones el problema subsiste por el desconocimiento de otras opciones para el uso de software de acceso gratuito, y en este trabajo se ha mostrado que para la caracterización de geomorfológica de una cuenca, la aplicación gvSIG es una alternativa muy viable que ofrece las mismas prestaciones del software ArcGis y sin la necesidad de usar licencias no autorizadas. Por razones de espacio, en este trabajo solo se ha mostrado la aplicación en 6 indicadores de tipo geomorfológico, sin embargo gvSIG ofrece un buena cantidad de algoritmos que resultan particularmente interesantes en el cálculo hidrológico, esta es una más de las razones por las que la herramienta forma parte ya del plan de estudios de los cursos de Hidrología y Manejo de Cuencas en la Universidad Autónoma de Querétaro.



**Figura 8.** Curva hipsométrica para la cuenca de la Presa El Carmen.

## REFERENCIAS

Arvizu Cobos L. G., 2012, *Manual de prácticas de Hidrología*, trabajo de titulación del programa de Ing. Civil, Fac. de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.

Campos A. D., 1998, *Procesos del ciclo hidrológico*, Edit. por la UASLP, México.

Google-Earth [ref. enero 2013] disponible en : <http://earth.google.es/>

GVSIG association *gvSIG Desktop 1.11 Manual de usuario* Valencia España, 2012 [ref. enero 2012] disponible en: <http://earth.google.es/>.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2010, *Documento técnico descriptivo de la red hidrográfica Escala 1:50 000* Dirección General de Geografía y Medio Ambiente Edición 2.0.

Racca J.M.G., 2007, *Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno*. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología 77(1-2): 31-38. Rosario, 01-10-2007. ISSN1666-115X.

INEGI - SIATL, version 2.1, *Simulador de flujo de aguas en cuencas hidrográficas*, disponible en: [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/index.html#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/index.html#)

# APLICACIÓN PRÁCTICA DE INSTRUMENTOS DE GEOMÁTICA EN HIDROLOGÍA DE CUENCAS Y ACUÍFEROS

Guisselle Eunice ARAUZ MORON <sup>a</sup>, Juan Pablo DEL CONDE GUADALAJARA <sup>b</sup>, Jorge Omar REYES HERNÁNDEZ <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Msc. en Geomática. Ingeniería y Gestión Hídrica S.C., Tulipan 137, Coyoacán, México, D.F.

email: [guisselle@igh.com.mx](mailto:guisselle@igh.com.mx), <sup>b</sup> Director Asociado. Ingeniería y Gestión Hídrica S.C, Tulipan 137, Coyoacán, México, D.F, email: [juan\\_pablo@igh.com.mx](mailto:juan_pablo@igh.com.mx), <sup>c</sup> Director Asociado. Ingeniería y Gestión Hídrica S.C, Tulipan 137, Coyoacán, México, D.F, email: [omar@igh.com.mx](mailto:omar@igh.com.mx)

## RESUMEN

El ciclo hidrológico es un fenómeno físico con representación geográfica y por consiguiente los instrumentos que proporciona la Geomática, tales como los Sistemas de Información Geográfica, son de gran utilidad para la gestión de los recursos hídricos. El manejo de la información es clave para evitar conflictos entre usuarios y proteger el medio ambiente. La gestión es un proceso de toma de decisiones, individuales e institucionales, que se sustenta en *información estructurada* en base a modelos y algoritmos matemáticos o de simulación; e *información no estructurada*, útil a partir de la experiencia e intuición. En esta ponencia se presentan aplicaciones prácticas del uso de algunos componentes de la Geomática como son los Sistemas de Información Geográfica aplicados al manejo de aprovechamientos subterráneos, zonas inundables y zonas de recarga artificial. Los ejemplos son relativos a estudios en cuencas y acuíferos de la República Mexicana.

**Palabras clave:** Geomática, aprovechamiento subterráneo, SIG, ArcGis, Aplicaciones

## 1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los problemas que enfrentamos en cuanto a problemas territoriales como contaminación, escases de agua, desastres naturales y demás, cada uno de ellos tienen un referente geoespacial. Por ejemplo mapear donde la calidad de agua se deteriora puede dar nuevas aproximaciones sobre la fuente de contaminación y formas de controlar su emisión. Igualmente las inundaciones, así como los procesos involucrados con este fenómeno, es una variable muy importante para la descripción de las zonas de riesgo de alguna región.

En esta ponencia se presentan aplicaciones prácticas del uso de algunos componentes de la Geomática como son los Sistemas de Información Geográfica aplicados al manejo de aprovechamientos subterráneos, zonas de riesgo por inundación y zonas de recarga artificial. Los ejemplos que se muestran, son relativos a estudios realizados en cuencas y acuíferos de la República Mexicana.

## 2 GEOMÁTICA

Uno de los fundamentos para cualquier ejercicio de evaluación de los recursos hídricos consiste en el conocimiento de su dimensión, distribución y dinámica espacial, así, la información geográfica es fundamental en todo proyecto o labor relacionada con la gestión administrativa y proyección del agua. De esta forma, instrumentos de Geomática como la Cartografía, el Análisis Espacial, los Sistemas de Información Geográfica, los Sensores Remotos y la Tecnología GPS se convierten en herramientas básicas para el desarrollo de proyectos hidrológicos, hidráulicos, recarga artificial y de calidad de agua, por mencionar algunos.

Los recientes avances tecnológicos aunados al desarrollo de la Geomática, ha permitido la integración, gestión, visualización, análisis, modelación y simulación de datos con referencia geoespacial.

Geomática es un campo de actividades que, usando una aproximación sistémica, integra todos los medios para adquirir y manejar datos espaciales requeridos como parte de actividades científicas, administrativas, legales y técnicas que se preocupan de la producción y manejo de información espacial" (Instituto Canadiense de Geomática, Canadá. 2000). En ese sentido, podemos decir que la geomática provee los métodos y tecnología necesaria para crear una visión detallada y comprensible del mundo real para apoyar la toma de decisiones, entre otros.

## **2.1 LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

Tener un mejor conocimiento acerca de la problemática del agua en una cuenca, además de construir sistemas que permitan el manejo adecuado de las variables implicadas, posibilita evaluar los recursos y ayuda en la toma de decisiones y en la gestión de los mismos.

Por medio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) podemos gestionar y analizar tanto la información espacial como temporal de datos hidrológicos y de calidad de agua de una cuenca o región, ya que permite la integración de la información necesaria para el manejo y procesamiento de los datos.

Dicha información es fundamental para: planificar los recursos hidrológicos del territorio, gestionar los recursos hídricos de forma eficiente y sostenible y realizar estudios hidrológicos o de inundaciones,

Los SIG tienen muchas áreas de aplicación, entre éstas: el manejo de aprovechamientos subterráneos, el análisis de riesgo por inundación, la valoración de la calidad del agua, el análisis climatológico, la ubicación de infraestructura hidráulica y la modelación hidrológica e hidráulica.

## **3 DESARROLLO DE APLICACIONES SIG SOBRE ARCGIS DESKTOP**

Una buena toma de decisiones requiere acceso a varios tipos de información y sistemas, los cuales no se encuentran distribuidos y/o relacionados espacialmente. Los SIG nos permiten visualizar información con referencia espacial, lo que nos ayudará a buscar patrones coincidentes, relaciones y tendencias en nuestra información, además de darnos una vista global de todos nuestros datos. Con la creación y uso de aplicaciones SIG, podemos ubicar rápidamente sus elementos, saber donde se está dando alguna condición anómala, ver que tanto se ha modificado un sector en específico, o recrear sus rutas buscando el camino más óptimo. Esto, en conjunto con herramientas de gestión y análisis agilizan los procesos logrando entregar un mejor servicio y producto.

Para que la gestión de los recursos hídricos tenga éxito es fundamental contar con un fácil acceso a la información sobre el estado de dichos recursos y de los ecosistemas, y sobre las tendencias en uso y contaminación del agua. Los responsables de la gestión de recursos hídricos deben ser capaces de contar con información confiable, actualizada y pertinente toda vez que la precisen, en un formato accesible. Por lo anterior, una buena gestión del recurso hídrico requiere del conocimiento del territorio y de los datos por manejar, según el objetivo que se persiga y el tema que se trate.

El desarrollo de los Proyectos SIG implica varias etapas de desarrollo:



**Figura 1.** Diagrama metodológico para el desarrollo de aplicaciones SIG (tomado de Ruth Torres, 2008).

Para el caso de las herramientas que se describen a continuación, se efectuó la programación de barras de herramientas de ArcGIS con VBA (Visual Basic for Applications), utilizando el conjunto de componentes y objetos de ArcObjects. VBA constituyó el lenguaje de programación y el entorno de desarrollo al mismo tiempo.



**Figura 2.** Programas utilizados en el desarrollo de la aplicación

**Desarrollo de las aplicaciones:** Esta fase consistió en la realización de una serie de rutinas de programación para desarrollar la aplicación. La programación como se ha mencionado anteriormente se basó en la tecnología de ArcObjects, componentes de programación con funcionalidades SIG e interfaces programables mediante las cuales ha sido desarrollado ArcGIS y sus aplicaciones; en este caso específicamente se trabajó sobre ArcMap.

La realización de la personalización de ArcGIS con ArcObjects, se realizó a través de Visual Basic para aplicaciones (VBA) aunque es posible utilizar otros lenguajes que cumpla con las especificaciones COM (Component Object Model). No obstante, fue elegido VBA por ser la forma más común que los desarrolladores utilizan para personalizar ArcGIS, básicamente por tratarse de un lenguaje menos complejo.

En términos generales las aplicaciones desarrolladas, cuentan con funciones de visualización, edición, reporte y análisis de los elementos gráficos, tales como: Selección de elementos por cursor, selección de atributos, selección por localización ("spatial query"), introducción de nuevos elementos gráficos, edición de elementos gráficos existentes, eliminación de elementos gráficos, operaciones de análisis y reportes

#### 4 APLICACIONES SIG REALIZADAS CON EL APOYO DEL ARCGIS

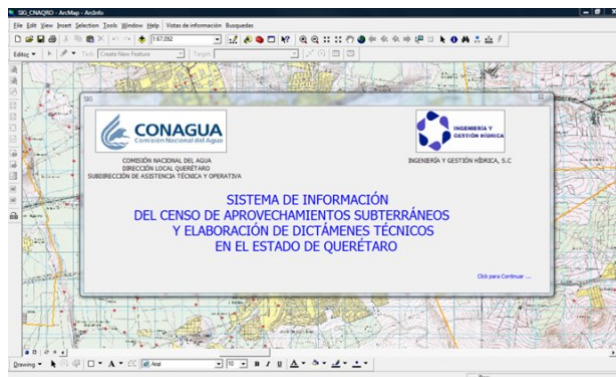
A continuación se presentan algunos ejemplos de aplicaciones SIG desarrolladas para apoyar la toma de decisiones en algunos sectores gubernamentales:

## 4.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL CENSO DE APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS Y ELABORACIÓN DE DICTÁMENES TÉCNICOS EN EL ESTADO DE QUERÉTARO (SIG\_CNAQRO).

El SIG\_CNAQRO fue creado en el año 2008 por Ingeniería y Gestión Hídrica S.C (IGH) a través del Proyecto “CENSO DE INTEGRACIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN DE LOS APROVECHAMIENTOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE QUERÉTARO.”, realizado para la Dirección Técnica de la Dirección Local Querétaro (CONAGUA).

El proyecto tuvo como propósito desarrollar una herramienta para ArcMap (ArcGIS Desktop) con el fin de minimizar el tiempo y costo de operación en la elaboración de dictámenes técnicos de aprovechamientos subterráneos. Esta herramienta fue desarrollada en el software ArcGIS 9.3 (ESRI) y la plataforma ArcObjects, mediante la técnica de Programación Estructurada a través el empleo de Visual Basic for Applications (VBA). El sistema representa una herramienta de gran utilidad para el Área Técnica de la Dirección Local Querétaro (CONAGUA) ya que por medio de este sistema se puede observar información vectorial a mayor detalle del censo de aprovechamientos subterráneos realizado entre el 2006 y el 2008 de los acuíferos del Estado de Querétaro, (Valle de San Juan del Río, Valle de Amazcala, Valle de Amealco, Tolimán, Valle de Tequisquiapan, Valle de Buena Vista y Valle de Cadereyta), permitiendo a los usuarios consultar, analizar y actualizar dicha información. El SIG\_CNAQRO integra información del censo de aprovechamiento de los acuíferos del Estado de Querétaro, así como información temática de usos de suelo, geología, acuíferos, cuencas, regiones hidrológicas. También incluye los dictámenes técnicos realizados a los aprovechamientos subterráneos del 2005 al 2008.

El sistema tiene la funcionalidad de consultar la información del censo, así como la información del REPDA (Registro Público de Derechos del Agua). A través del sistema se puede generar un dictamen técnico de agua subterránea, consultar dictámenes anteriores y realizar modificaciones a dictámenes generados por el sistema o que se encuentren en proceso de validación, así como actualizar la información de las campañas piezométricas que se realicen para el Estado de Querétaro.



**Figura 3.** Plantilla de entrada al sistema SIG\_CNAQRO

### Programación de la herramienta

Gracias a las bondades que permite ArcGIS y la libertad de elegir el lenguaje de programación que mejor se adapte a los requerimientos de crear aplicaciones específicas, se creó la herramienta IGH de acuerdo a las necesidades del usuario. La barra de herramienta cuenta con siete (7) herramientas, las cuales se describen a continuación: Vistas de información, Búsquedas, Modificar BD,(modificar base de datos de censo de aprovechamientos), Dictámenes, Piezometría, Imprimir y RePDA.

Estas herramientas en conjunto permiten al usuario explorar, consultar, analizar, gestionar, modificar y efectuar dictámenes a partir de los datos espaciales y alfanuméricos de manera sencilla y eficiente.



**Figura 4.** Herramientas del SIG\_CNAQRO

La visión de estos trabajos del censo de aprovechamiento en los acuíferos del Estado de Querétaro es que el personal técnico pueda tener disponible la información de cada uno de los aprovechamientos subterráneos que administra la Dirección Técnica en esta zona. El SIG\_CNAQRO jugó un papel importante en la evolución y realización de esta visión.

### Contribuciones y Productos

La principal contribución de la aplicación es poder entregar al usuario una herramienta potente y efectiva que solucione rápidamente los procedimientos técnicos que se necesitan para tramitar una transmisión de derechos, ya que permite identificar los aprovechamientos subterráneos que se sitúan en alguna zona de interés del Estado de Querétaro, automatizar labores que se realizaban de forma manual, minimizar los tiempos de ejecución de procedimientos de las labores técnicas, minimizar los errores en que se pueda incurrir al momento de alguna transmisión de derechos, minimizar el tiempo de respuesta a algún trabajo solicitado, siendo rápido y proactivo al momento de la toma de decisiones.

## 4.2 SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA ZONA DE RECARGA ARTIFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL (SIGZORA).

El SIGZORA fue creado en los años 2010-2011 por IGH a través de los Proyecto “LOCALIZACIÓN EN MAPAS GEOREFERENCIADOS DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EXISTENTE EN LA ZONA DE RECARGA ARTIFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL Y LA UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA RESIDUAL.” y “CONTINUACIÓN DE LOS ESTUDIOS PARA LA RECARGA ARTIFICIAL”, Realizado para la Subdirección de Control de Calidad del Agua, del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX).



**Figura 5.** Plantilla de entrada al sistema SIGZORA

Este sistema se desarrolló para dar soporte técnico al proceso de toma de decisiones, y en especial atender las especificaciones de la NOM-014-CONAGUA-2003, en cuanto a los estudios por realizar para obtener el permiso de



la recarga artificial del acuífero, incorporando plenamente la tecnología SIG a las tareas cotidianas de la Subdirección de Control de Calidad de Agua del SACMEX.

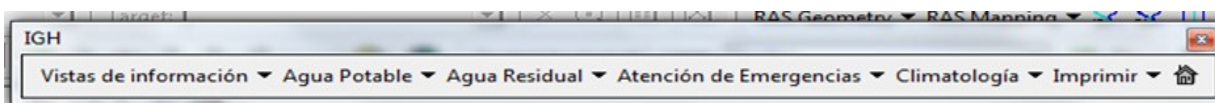
El SIGZORA es un sistema con alto potencial de explotación a ser utilizado en la gestión en materia de recarga artificial al acuífero de la zona oriente del Distrito Federal y de la infraestructura hidráulica que administra el SACMEX. Este SIG integra toda la información de la infraestructura hidráulica sobre la cual se monitorea la calidad de agua como son: tanques, rebombeo, manantiales, canales, entradas de agua en bloque, garzas de agua potable y agua residual tratada, colectores, plantas potabilizadoras, pozos, plantas de bombeo, plantas de tratamiento de agua residual, calidad de agua, así como de la zona definida para la recarga.

Esta herramienta ha proporcionado soluciones efectivas para muchos de los problemas relacionados con la gestión, mantenimiento, planificación de la infraestructura hidráulica de la zona de recarga artificial del SACMEX, así como de la existente en el Distrito Federal, ya que permite una mejora del almacenamiento y mantenimiento de los datos espaciales y alfanuméricos que intervienen en la monitoreo de la calidad del agua; mayor eficiencia en la recuperación y manipulación de la información geográfica; una mejora en el proceso de toma de decisiones gracias a la posibilidad de efectuar rápidamente análisis de soluciones alternativas.

El sistema de información geográfica comprende además de la información de la infraestructura hidráulica descrita en el párrafo anterior la información de los sitios con riesgo de contaminación como son las estaciones de servicio, las lumbreras, las industrias localizados en la zona para recarga artificial.

El recurso agua es considerado el recurso más importante en nuestro ambiente. El manejo del agua en cuanto a cantidad y calidad juega un papel muy importante en cuanto a la real disponibilidad del recurso. Según Sanders et al. (1983), el manejo de la calidad del agua debe estar dirigido a atenuar los impactos que la sociedad impone en su desarrollo. Dentro del proceso de evaluar la calidad de agua de las fuentes de abastecimiento, se encuentra el almacenamiento, proceso, análisis y reporte de resultado de grandes volúmenes de información medidos en las etapas de muestreo. Sin un buen método de almacenamiento y análisis, la interpretación y evaluación final son prácticamente imposibles de llevarse a cabo. Un sistema completo para evaluar la calidad de agua debe incluir el uso de base de datos, análisis estadístico, determinación de tendencias, correlaciones y presentación de resultados. Sin embargo, dado que la interpretación de resultados involucra comparar resultados entre sitios de monitoreo, se requiere adicionalmente de un marco de referencia geográfico para disponer de un sistema completo de evaluación. Gracias a este sistema, la subdirección de Control de Calidad de Agua cuenta hoy día con un sistema completo de evaluación de la calidad de Agua

**Programación de la herramienta:** se creó la herramienta IGH de acuerdo a las necesidades del usuario. La barra de herramienta cuenta con siete (6) herramientas: Vistas de información, Agua Potable, Agua Residual, Atención de Emergencias, Climatología y Imprimir



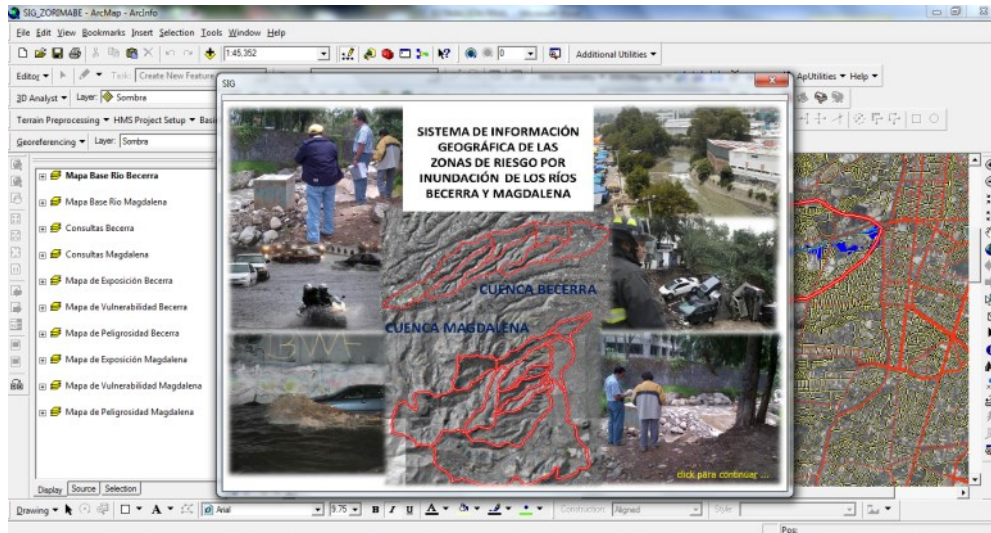
**Figura 6.** Herramientas del SIGZORA

El sin fin de aplicaciones que presenta esta herramienta, la hace ser una alternativa óptima para administrar, almacenar, analizar, consultar y actualizar la información de toda la infraestructura hidráulica del Distrito Federal; así como de la información de calidad de agua.

Dentro del concepto de gestión, es una importante herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la Subdirección de Control de Calidad del Agua, porque optimiza los recursos disponibles, disminuye costos de tiempo y economía.

### 4.3 SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LAS ZONAS EN RIESGO POR INUNDACIÓN EN LAS CUENCAS DEL RÍO BECERRA Y MAGDALENA (SIG\_ZORIMABE).

El SIG\_ZORIMABE fue creado en el año 2012 por IGH a través del Proyecto “MODELACIÓN HIDROLÓGICA EN CUENCAS PRIORITARIAS DEL VALLE DE MÉXICO.”, realizado para el Organismo de Cuencas Aguas del Valle de México (CONAGUA)



**Figura 7.** SIG\_ZORIMABE

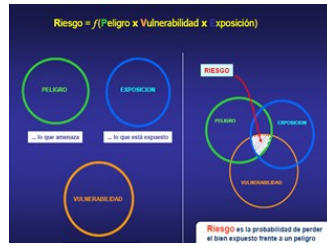
Frente a la problemática planteada en las cuencas del río Magdalena y Becerra, se integró un Sistema de Información Geográfica de las zonas en riesgo por inundaciones denominado SIG\_ZORIMABE, el cual fue diseñado y desarrollado para dar respuestas eficientes frente a la ocurrencia de una emergencia o catástrofe por riesgo de inundaciones en la zona de estudio.

El SIG\_ZORIMABE pretende ser de utilidad en el Organismo de Cuencas Aguas del Valle de México (CONAGUA) para consultar la infraestructura urbana en riesgo y actualizar la información de la mancha de riesgo por inundación y del mapa de peligrosidad para las cuencas de los ríos Magdalena y Becerra. Con este sistema se podrá hacer búsqueda de zonas en riesgo de inundación a partir del conocimiento de sus coordenadas o cercanía con las zonas inundables y determinar cual es la zona afectada y la infraestructura urbana vulnerable.

El objetivo de este SIG fue integrar toda la información de la modelación hidrológica e hidráulica, generada en el proyecto, en un ambiente geográfico apto para hacer consultas geográficas y tabulares de algunas variables que fueron constituidas como bases de datos. Para ello se desarrolló la herramienta IGH en el ArcGIS para consultar, buscar, editar, visualizar y reportar la información geográfica y tabular referente a riesgo por inundaciones en la cuenca de los ríos Magdalena y Becerra.

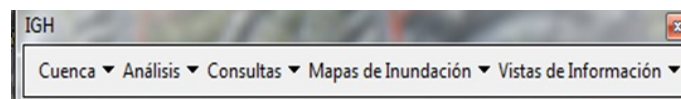
#### **Determinación de las zonas de riesgo por inundación**

La determinación de las zonas de riesgo por inundación estriba en tres conceptos: peligro, vulnerabilidad y exposición, con lo cual se obtiene un estimativo general de las áreas que presentan mayor susceptibilidad a la afectación por el fenómeno en consideración.



1. La exposición: se valoró considerando la posición que guardan las zonas urbanas aledañas respecto a la cota del cauce, es decir 0-2 metros = alta; 2-5 m = media; 5-10 m = baja. El mapa de exposición se clasificó en 3 categorías (alta, media y baja) y se le asignó un valor numérico para pasar de lo cualitativo a lo cuantitativo.
2. La vulnerabilidad: se asoció al índice de marginalidad según el CENSO de INEGI, para las Manzanas que componen la traza urbana de la ciudad de México. Una marginalidad alta puede estar directamente vinculada con casas de materiales como el adobe (vulnerables ante la ocurrencia de fenómenos). Con el fin de realizar operaciones de mapas (álgebra de mapas) con el grado de marginación de la CONAPO, a éste se le asignó un valor numérico para pasar de lo cualitativo a lo cuantitativo.
3. La peligrosidad: se estimó del producto de dos variables: el tirante del agua (m) y la velocidad del flujo (m/s). Estas variables se obtuvieron de la modelación hidráulica en HEC-RAS y ya tienen implícito el comportamiento hidrológico de las cuencas. El criterio involucrado para la construcción de los mapas de riesgo está basado en el parámetro hidráulico sugerido por OFEG para clasificar la peligrosidad. Ellos clasifican la peligrosidad en cuatro categorías. Para los mapas de peligrosidad de la cuenca de los ríos Becerra y Magdalena, se consideraron solo 3 clases: Alta, mediana y baja. El intervalo para peligrosidad baja se consideró  $< 1.00$ . El mapa de peligrosidad obtenido del producto de la velocidad del flujo y el tirante de agua, se le asignó un valor numérico para pasar de lo cualitativo a lo cuantitativo. Los mapas de peligrosidad fueron generados para cada periodo de retorno ( $tr_5$ ,  $tr_{10}$ ,  $tr_{20}$ ,  $tr_{50}$ ,  $tr_{100}$ )
4. El riesgo de un sector en la cuenca del río Magdalena o Becerra estará determinado por la influencia de un fenómeno (peligro) y la disposición de elementos susceptibles de sufrir daño por la manifestación de dicho fenómeno (exposición vulnerabilidad). Para el caso específico de las inundaciones en el área urbana de las cuencas del río Magdalena y Becerra, el riesgo se refiere a la probabilidad mayor (riesgo alto) o menor (riesgo medio) de que la inundación cause afectación sobre la vida (personas) y sobre las viviendas o los bienes muebles que éstas contienen. El factor riesgo estará condicionado en forma determinante por la ubicación de las estructuras, más que por su calidad constructiva. Los mapas de zonas de riesgo se obtuvieron del cruce de la información obtenida resultado de la evaluación de la exposición, la vulnerabilidad y la peligrosidad.

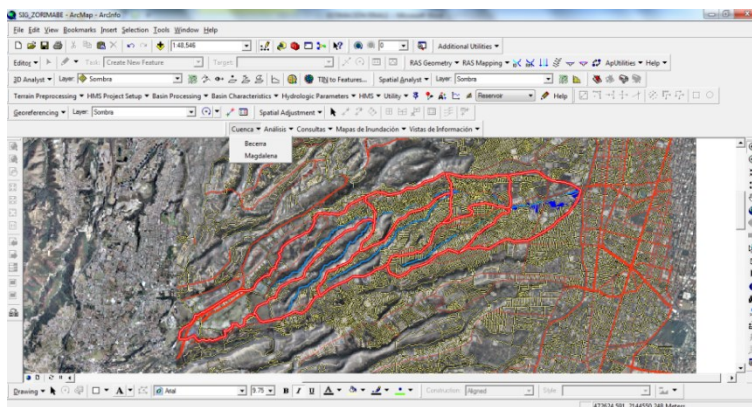
**Programación de la herramienta:** se creó la herramienta IGH de acuerdo a las necesidades del usuario. La barra de herramienta cuenta con siete (5) herramientas, las cuales se describen a continuación: Cuenca, análisis, consulta, mapa de Inundación y vista de Información



**Figura 8.** Herramienta del SIG\_ZORIMABE

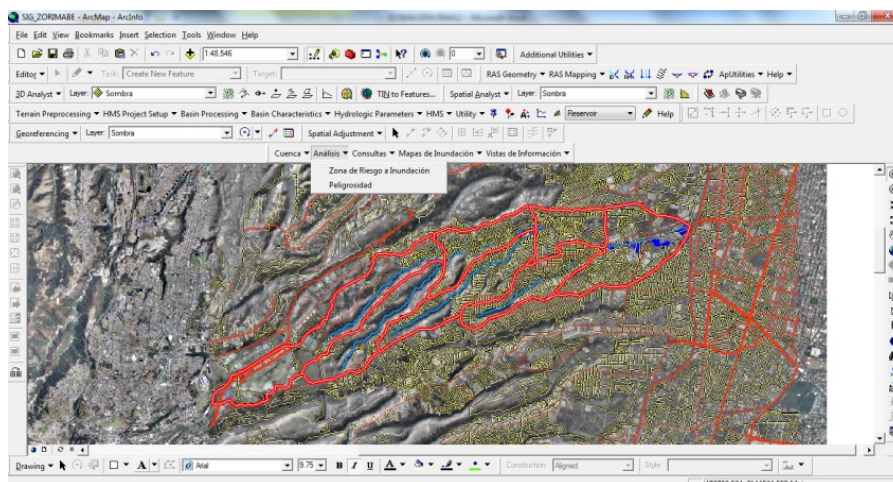
A continuación se describen cada una de las herramientas del sistema:

1. Cuenca: El menú de cuenca tiene la funcionalidad de establecer la cuenca sobre la cual se va a consultar la información. Permite ir rápidamente a las subcuencas y ver la información geográfica de la misma.



**Figura 9.** Herramienta de Cuenca

2. **Análisis:** La herramienta de análisis incorpora 2 menús para el cálculo de los mapas de peligrosidad y los mapas de zona de riesgo por inundación. Estos mapas se pueden generar para cualquier periodo de retorno.



**Figura 10.** Herramienta de Análisis

3. **Consulta:** Esta herramienta permite la consulta de la infraestructura urbana (escuela, hospitales y otra infraestructura) que se encuentra en zona de riesgo por inundación para los diferentes periodos de retorno establecidos (tr5, tr10, tr20, tr50, tr100 y otro tr).



**Figura 11.** Herramienta de Consulta

4. **Mapa de Inundación:** Esta herramienta se diseño para visualizar la información de las manchas de inundación para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años y otros periodos de retorno que el usuario requiera, para lo cual deberá generar la información en Hec-Georas y cargarla al sistema.



**Figura 12.** Herramienta de Mapa de Inundación

5. Vistas de Información: Este menú permite visualizar la información de los mapas de exposición, vulnerabilidad y peligrosidad que se generaron en cada cuenca para la determinación de las zonas de riesgo por inundación.



**Figura 13.** Herramienta de Vista de Información

La aplicación de usuario final desarrollada para el SIG (herramienta IGH) permite expresar los resultados de las consultas en forma gráfica (mapas temáticos) o alfanumérica (listados, informes).

La aplicación da respuestas a consultas del tipo:

- Determinación de manzanas que se encuentre dentro de la zona de riesgo por inundación, superficie de riesgo, población en riesgo, etc.
- Determinación de la infraestructura urbana de importancia localizada en zona de riesgo (escuelas, hospitales, otra infraestructura).

El SIG\_ZORIMABE, es una herramienta que podrá ser utilizada para diagnosticar sitios de posible desborde y planificar acciones para mitigar la ocurrencia de inundaciones, ya que integra modelos hidráulicos e hidrológicos así como fotografías aéreas, ortofotos e imágenes de satélite. Además pretende ser útil para procesos de evaluación y rehabilitación post-desastre y trabajos de reconstrucción, por su capacidad para manejar y combinar mapas con bases de datos alfanuméricas con la información descriptiva correspondiente. Este sistema permite el acceso rápido a la información espacial y alfanumérica en forma simultánea, facilitando el proceso de toma de decisiones, la evaluación de amenazas y riesgos de manera óptima, la evaluación de áreas vulnerables y la determinación de estrategias específicas de mitigación. Brinda la posibilidad de producción de la información en forma de mapas, resultando una excelente herramienta visual para transmitir y difundir planes de emergencia, zonas de riesgo, etc.

## REFERENCIAS

Sanders, T.G., et al, 1983. *Design of Networks for Monitoring Water Quality*, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA.

Torres, R. 2008. *Desarrollo de una aplicación para el manejo de elementos gráficos en el entorno de ArcMap 9.2*, Tesis de Master en Tecnología de la Información Geográfica, Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Geografía, pp. 67.

# APLICABILIDAD DEL SOFTWARE GDCLIMEX PARA LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS EFECTUADOS EN MÉXICO.

Fidelmar MERLOS VILLEGAS<sup>1</sup>, SANCHEZ QUISPE Sonia Tatiana<sup>2</sup>, SERVIN ARREYGUE Manuel<sup>3</sup>,  
Benjamín LARA LEDESMA<sup>4</sup>

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Departamento de Hidráulica, Ciudad Universitaria Edificio H,  
Morelia Michoacán, México. Tel 52-443-3223500 ext. 4308 [fidelmarmelos@gmail.com](mailto:fidelmarmelos@gmail.com), [soniatsq@hotmail.com](mailto:soniatsq@hotmail.com),  
[ms\\_arreygue@hotmail.com](mailto:ms_arreygue@hotmail.com), [blara@umich.mx](mailto:blara@umich.mx)

## RESUMEN

En el presente artículo se analiza la factibilidad de uso de este software para el desarrollo de un estudio hidrológico tomando como base datos obtenidos de pluviografos administrados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

En los estudios hidrológicos efectuados en México por lo general se emplean datos que no siempre son fiables debido a los procesos de registro de los mismos y adicionalmente a ello se omiten los procesos enfocados a la evaluación de la consistencia y la gestión de los mismos, lo anterior debido a la complejidad y tiempo que esto conllevan estos procesos, adicionalmente cabe mencionar que los procesos para el completado de series no siempre se efectúan detalladamente. Por lo anterior en este artículo se propone la utilización del software denominado GDclimex, desarrollado en Michoacán, para efectuar estos procedimientos aplicando esta herramienta en los procesos de consistencia, gestión y llenado de datos utilizados en el desarrollo de un estudio hidrológico.

Este módulo representa una herramienta muy importante para mejorar y facilitar el desarrollo del trabajo del hidrólogo común, así como de los investigadores. Disminuyendo los tiempos empleados en la realización de procesos iterativos y facilitando la aplicación de metodologías para evaluación de la consistencia de los datos.

A pesar de que existen aplicaciones para la evaluación de la consistencia y los procesos de llenado de series, este módulo es único en su tipo ya que incorpora las bases de datos procedentes del programa “ERIC 3” y “Clicom”; teniendo datos incluso hasta el año 2012.

**Palabras clave:** GDclimex, Consistencia, Gestión, Completado de series.

## INTRODUCCIÓN.

GDclimex es un proyecto de software desarrollado en 2010 como parte de un esfuerzo por mejorar la gestión de datos en el país, surgiendo ante el poco control que se tiene en México sobre la toma de datos climatológicos.

A pesar de la existencia de estaciones automatizadas aún seguimos dependiendo de los pluviografos debido a la corta existencia de los primeros, por lo cual este el tema de la gestión toma una relevancia significativa para comprobar la calidad de los datos.

Este software se desarrolló como un módulo para la plataforma de autocad, convenientemente debido al uso tan difundido que tiene entre ingenieros civiles e hidrólogos. Permite evaluar la consistencia de las series climatológicas mediante varios test de tipo estadístico y con varias rutinas para ejecutar el llenado, permitiendo el ahorro de tiempo importante en el desarrollo de un estudio hidrológico.

En el presente artículo se ha usado dicho modulo en la parte de la gestión de datos de las series de precipitación mensual de la cuenca del rio Almoloya, terminando con la obtención de datos llenos, para la posterior obtención de las curvas IDF (intensidad-duración-frecuencia).

## 1.- FUNDAMENTOS DEL MODULO GDCLIMEX.

El modulo posee rutinas elaboradas para evaluar la consistencia de las series climatológicas y de llenado de las series, las cuales se describen brevemente a continuación.

### A) METODOS PARA LA EVALUACION DE LA CONSISTENCIA DE LAS SERIES.

Las pruebas estadísticas con que cuenta el modulo son enfocadas a verificar la homogeneidad de las series, adicionalmente se han incluido test para evaluar los cambios en la media y en la tendencia como se describen a continuación:

#### A.1) TEST DE HELMERT.

Nos permite comprobar la homogeneidad de los datos mediante un procedimiento sencillo que se consiste en ordenar la serie cronológicamente y analizar el signo de las desviaciones con respecto a la media de cada dato. Si una desviación de un cierto signo es seguida por otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia: S, de lo contrario se considera un cambio: C.

Para comprobar que la serie es homogénea se aplica el siguiente criterio:

$$-\sqrt{n-1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n-1}$$

#### A.2) TEST DE SECUENCIAS.

Esta prueba consiste en analizar el signo de las desviaciones con respecto a la mediana muestral para cada dato y comparar el número de cambios de signo con el número de cambios permitido en base al tamaño de la muestra. Si el número de cambios esta entre los valores establecidos la serie es homogénea.

#### A.3) EL TEST DE MANN-KENDALL.

Es un test no paramétrico, estadísticamente basado en el ranking (o número de orden) de dos variables y puede ser utilizado para tendencias en series de tiempo de datos hidrológicos si una de esas variables es el tiempo y tiene la particularidad de presentar una mayor potencia estadística en la medida que la serie de datos presenta un mayor sesgo que la aleje de una distribución normal (USGS, 2004; USGS, 2006).

#### A.4) TEST T DE STUDENT.

Se trata de un test robusto excepto cuando la longitud de los dos periodos es desigual por este motivo se recomienda aplicar este test que la media de los datos sea muy similar. La prueba de t Student está definida por la siguiente ecuación.

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[ \frac{n_1 \cdot s_1^2 + n_2 \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{0.5}}$$

El valor absoluto de la  $t_d$  se compara con el valor de la t de la distribución t Student de dos colas y con  $v = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad y con un 5% de nivel de significancia.

#### A.4) TEST DE ANDERSON.

Para una serie independiente la población del correlograma es igual a cero para  $K \neq 0$ . Sin embargo series temporales independientes, presentan variabilidad de la muestra, conteniendo fluctuaciones de alrededor de cero, pero estos no son necesariamente cero. En este caso lo que hacemos para determinar los límites de probabilidad de series independientes, utilizamos los límites de Anderson (1941).

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (Q_i^j - \bar{Q}^j)(Q_{i+k}^j - \bar{Q}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2}$$

#### A.5) PROMEDIOS MOVILES.

El análisis con promedios móviles se realiza en forma gráfica. Las series cronológicas de precipitación anual generalmente se analizan con N=5, si se analiza con un N muy bajo se pierde efectividad pues no se reduce la variabilidad, en cambio si N es muy grande se corre el riesgo que se oculten algunos componentes como la cíclica. Por medio de una línea recta se unen los datos de los periodos secos y de los periodos húmedos y los que varían mucho sobre la media, son probablemente errores en la toma o captura de los datos; analizando así de forma visual la homogeneidad de la serie.

#### B) METODOLOGIAS PARA COMPLETADO DE SERIES CLIMATOLOGICAS.

##### B.1) CORRELACION.

La correlación es análisis sencillo de la relación entre las dos variables o dos series de datos para este caso aplicado a las precipitaciones se refieren a la relación que existe entre las alturas del mismo en diferentes sitios o estaciones climatológicas con respecto de otras. El análisis de correlación intenta medir la fuerza de las relaciones entre dos variables por medio de un simple número llamado coeficiente de correlación.

$$\rho = \beta \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$$

Dónde:

$\sigma_x$  = desviación estándar de la serie x;  $\sigma_y$  = desviación estándar de la serie y.

$$\alpha = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i y_i \sum x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad \beta = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

##### B.2) METODO DEL U.S. WEATHER SERVICE.

Este método también es conocido como el método del inverso de la distancia al cuadrado y se basa en una metodología fundamentada teórica y empíricamente, la cual se ha posicionado como una de las mejores y más comunes para el completado de series de precipitación.

$$\text{Dato faltante} = \sum_{i=1}^n (W_i * P_i)$$

Dónde:

$W_i$  = Peso de la estación i.

$$W_i = \frac{(\text{Inv. Dist. Euclí } i)^2}{\sum_i^n (\text{Inv. Dist. Euclí.})^2}$$

$P_i$  = Precipitación en la estación i.



### B.3) METODO DE LA RELACION NORMALIZADA.

Este es uno de los métodos más simples para completar series climáticas a nivel mensual y anual, y consiste en multiplicar la precipitación de cada estación por el cociente de los promedios anuales de la estación de trabajo y la auxiliar.

$$P_x = \frac{1}{n} \left( \frac{N_x}{N_a} P_a + \frac{N_x}{N_b} P_b + \frac{N_x}{N_c} P_c \right)$$

Dónde:

$N_x$  = Promedio anual de la estacion a llenar.

$N_a, N_b \dots \dots N_n$  = Promedio anual de la estacion auxiliares.

$P_a, P_b \dots \dots P_n$  = Precipitacion en el intervalo buscado de la estacion auxiliar.

### B.4) METODO DE LA REGRESION LINEAL SIMPLE.

Este es el método de llenado más difundido por su sencillez, se plantea que existe una relación lineal entre los datos de una estación y otra, de manera que:

$$\text{Dato faltante} = m * P + b$$

Donde:

“m” y “b” son parámetros correspondientes a la ecuación de la recta.

P es la precipitación en la estación auxiliar.

## 2) APLICACIÓN DEL MODULO EN LA CUENCA DEL RIO ALMOLOYA.

1) La cuenca se generó mediante el sistema de información geográfica (GIS) ArcView 3.2, se puede observar en la figura 1.

2) Se obtuvo un archivo “*dxf*” con el contorno de la cuenca y se procedió a realizar la búsqueda de estaciones presentes en la cuenca mediante el modulo, utilizando únicamente las estaciones procedentes de la base de datos “*clicom*”. La ubicación de estas estaciones se muestra en la figura 2.

3) En la misma ventana se analizó cada estación para la preselección de las mismas, en cuanto a :

- La distancia la centroide de la cuenca
- Porciento de llenado



**Figura1.-** Generación de la cuenca.

- Años con datos

- Rango de años con datos

4) Una vez hecha la selección se procedió a continuar con la siguiente ventana de trabajo, en la cual se realizó la evaluación de la consistencia de los datos y el completado de las series. En la Figura 3 se puede observar la pantalla maestra de procedimientos estadísticos.

5) Se evaluó la consistencia de las series encontrando que las estación 15282 y 15233 contiene inconsistencias en sus datos. Por lo cual se procedió a **Figura 2.-** Ubicación de las estaciones mediante GDCLimex descartar su uso para el presente estudio. Lo cual se puede observar en la figura 4.

6) Una vez evaluada la consistencia se procedió a la obtención de la matriz de correlacion, la cual se muestra en la figura 5. A partir de esta se seleccionaran las estaciones utilizadas para el llenado de datos, para el presente estudio se tomó el criterio con la correlación  $\geq 0.75$ .

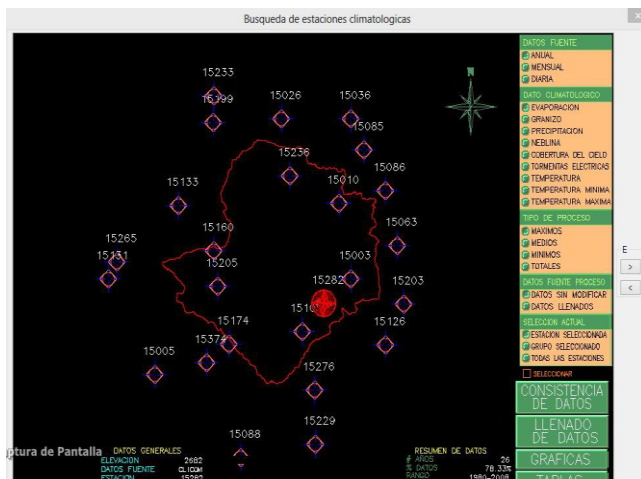
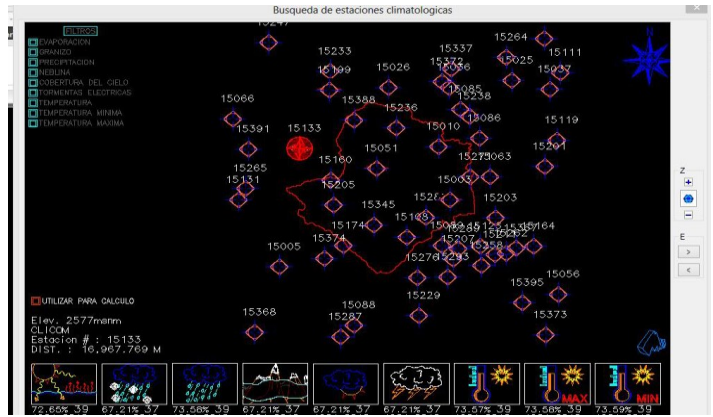


Figura 3.-Segunda pantalla.

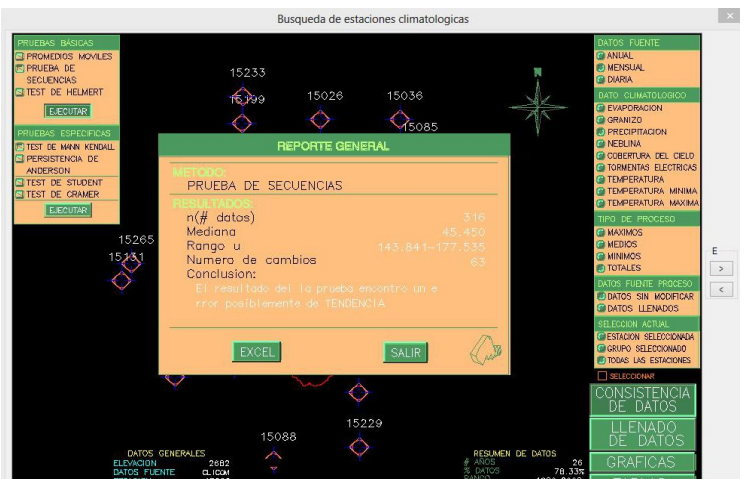
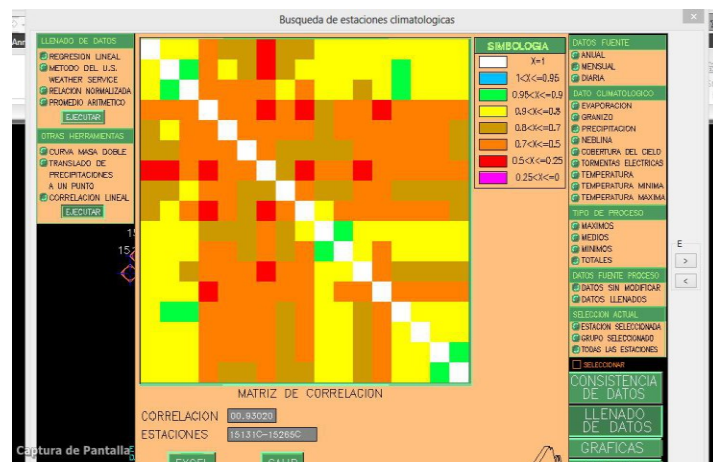


Figura 4.- Evaluación de la consistencia.



7) Se procedió a realizar el llenado de las estaciones base o principales, auxiliándose de las estaciones que cumplen la relación de correlación mencionada anteriormente. En la figura 6 se puede ver el proceso de completado de series.

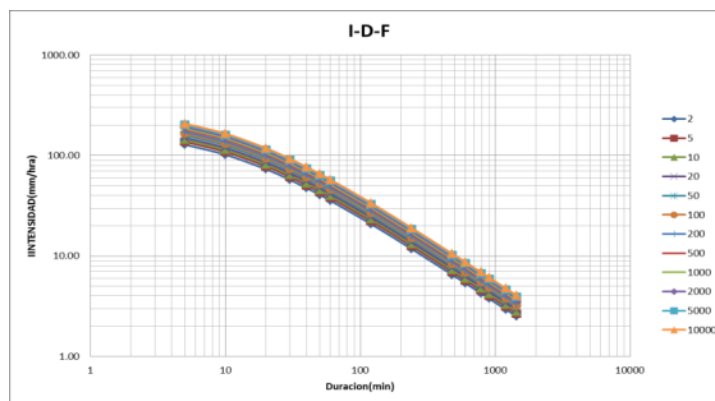
Figura 5.- Matriz de correlación lineal.

8) Una vez procesados los datos y completadas las series climatológicas se procedió a obtener los reportes de los datos, para continuar con el estudio. En el anexo 1 se pueden visualizar los reportes en las Figuras 8, 9,10 y 11 donde se muestran los resultados de los procesos.



**Figura 6.-** Ventana de llenado.

Una vez que se obtuvieron las series completas y se comprobó la homogeneidad se procedió a calcular las curvas IDF (intensidad–duración-frecuencia) mediante el análisis de distribución de frecuencias y la formula de Cheng. Las curvas IDF se muestran en la figura 7.



**Figura 7.-** Curvas I-D-F.

## CONCLUSIONES.

Sin duda existen muchas aplicaciones y paquetes de tipo estadístico para la aplicación de las diferentes metodologías aplicadas en el presente artículo, pero ningún paquete o aplicación puede ubicar las estaciones que existen en la zona de estudio con la facilidad que presenta dicho modulo; sin contar con la ventaja de poseer los datos pluviográficos a nivel nacional.

Sin embargo cabe mencionar que para el correcto uso e interpretación de los datos arrojados por el modulo se debe poseer cierto conocimiento del marco teórico en que se desarrollan los procesos estadísticos descritos en el presente artículo, de no ser así se puede llegar a una aplicación incorrecta o errónea de las metodologías. Al presentarse como un módulo para AutoCAD facilita su uso, ya que el usuario final, es decir el hidrólogo, comúnmente está familiarizado con la plataforma.

# ANEXO 1.- RESULTADOS DEL MODULO.

AÑO	MESES	DATOS	TIPO LLENADO
1859	2	102.84	SIN LLENADO
1859	3	105.89	SIN LLENADO
1859	4	76.46	SIN LLENADO
1859	5	73.78	SIN LLENADO
1859	6	51.75	SIN LLENADO
1859	7	65.26	SIN LLENADO
1859	8	48.33	SIN LLENADO
1859	9	79.41	SIN LLENADO
1859	10	28.36	SIN LLENADO
1859	11	13.42	SIN LLENADO
1859	12	79.33	SIN LLENADO
1860	1	77.36	SIN LLENADO
1860	2	85.17	SIN LLENADO
1860	3	105.10	SIN LLENADO
1860	4	119.28	SIN LLENADO
1860	5	65.46	USA
1860	6	15.11	USA
1860	7	301.28	SIN LLENADO
1860	8	104.17	SIN LLENADO
1860	9	38.42	SIN LLENADO
1860	10	138.76	SIN LLENADO
1860	11	87.11	SIN LLENADO
1860	12	65.28	SIN LLENADO
1861	1	76.28	SIN LLENADO
1861	2	28.42	SIN LLENADO
1861	3	54.25	SIN LLENADO

Figura 8.- Resultados del llenado.



Figura 9.- Ventana para la extracción de reportes.

Codigo	Nombre	Procedencia	X	Y	%	Media	Varianza
15005	AMANALCO DE BECERRA	Clicom	-100.02	19.253	67.59	104.450867	12014.6717
15205	PRESA DOLORES	Clicom	-99.9358	19.358	75.55	66.9884477	5026.22197
15265	CAMPAMENTO BERROS	Clicom	-100.072	19.387	60.32	79.942381	6930.20398
15131	VILLA DE ALLENDE	Clicom	-100.083	19.366	99.21	80.8861111	6588.28894
15133	EL TULE	Clicom	-99.9885	19.454	73.58	77.2047727	6118.87257
15199	MINA VIEJA	Clicom	-99.9418	19.553	95.29	73.6556901	6664.58961
15233	SABINAS HIDALGO	Clicom	-99.9406	19.585	85.86	64.4948867	4907.93208
15160	SANTIAGO DEL MONTE	Clicom	-99.9403	19.4	95.47	78.8427957	6257.81754
15174	PALO MANCORNADO	Clicom	-99.92	19.288	79.53	74.6512077	7218.29476
15374	AGUA BENDITA	Clicom	-99.9501	19.267	77.65	75.7137168	7290.09212
15088	SAN FCO OXTOTILPAN	Clicom	-99.9043	19.153	87.02	116.011897	15780.499
15229	LOMA ALTA	Clicom	-99.8036	19.169	40.62	63.99	3999.35837
15276	SAN JOSE DEL CONTADERO	Clicom	-99.8048	19.234	66.13	86.8810427	9906.56478
15126	TOLUCA OBS	Clicom	-99.7085	19.288	81.45	66.8461538	5518.13889
15282	TRES BARRANCAS	Clicom	-99.7923	19.337	91.39	73.4213115	5398.99839
15108	STA MARIA DEL MONTE	Clicom	-99.8215	19.303	94.78	68.6190476	4808.52459
15003	ALMOLOYA DE JUAREZ	Clicom	-99.7553	19.367	82.38	61.9875354	3999.66609
15203	CALIXTLAHUACA	Clicom	-99.6838	19.336	98.65	68.533584	4641.55721
15063	NUEVA STA ELENA	Clicom	-99.693	19.406	95.43	69.1310406	5075.34197
15086	SAN BERNABE	Clicom	-99.7086	19.472	92.63	70.7069231	5869.11868
15010	ATOTONILCO	Clicom	-99.772	19.457	93.89	70.655618	5388.86878
15236	OCOYOTEPEC	Clicom	-99.8383	19.489	83.51	69.2642308	6316.04717
15026	ENYEJE	Clicom	-99.85	19.558	83.82	64.3416667	4503.90333

Figura 10.-Reporte general Figura 11.- Matriz de Correlación en el reporte final.

ESTACIONES	15089C	15005C	15265C	15133C	15199C	15026C	15085C	15063C	15003C	15051C	15174C	15276C	15282C
15089C	1	0.71785	0.85483	0.77041	0.75389	0.76521	0.77	0.78428	0.78868	0.66605	0.6458	0.71613	0.91308
15005C	0.71785	1	0.85664	0.8628	0.82671	0.81831	0.84266	0.82291	0.82905	0.82386	0.799	0.43606	0.73648
15265C	0.85483	0.85664	1	0.91992	0.86086	0.8581	0.89002	0.84296	0.81919	0.88057	0.67315	0.69992	0.8702
15133C	0.77041	0.8628	0.91992	1	0.83898	0.87155	0.88712	0.85726	0.87404	0.65692	0.67478	0.68815	0.86786
15199C	0.75389	0.82671	0.86086	0.83898	1	0.84388	0.85669	0.80359	0.84436	0.62191	0.66501	0.5222	0.81565
15026C	0.76521	0.81831	0.8581	0.87155	0.84388	1	0.90009	0.84384	0.8825	0.6264	0.64639	0.63157	0.81993
15085C	0.77	0.84266	0.89002	0.88712	0.85669	0.90009	1	0.81785	0.88092	0.66888	0.74181	0.63863	0.84442
15063C	0.78428	0.82291	0.84296	0.85726	0.80359	0.84384	0.81785	1	0.9	0.65052	0.64111	0.56849	0.82431
15003C	0.78868	0.82905	0.81919	0.87404	0.84436	0.8825	0.88092	0.9	1	0.85757	0.76792	0.59109	0.8093
15051C	0.66605	0.82386	0.88057	0.65692	0.62191	0.6264	0.66888	0.65052	0.85757	1	0.54343	0.52836	0.6907
15174C	0.6458	0.799	0.67315	0.67478	0.66501	0.64639	0.74181	0.64111	0.76792	0.54343	1	0.50973	0.68216
15276C	0.71613	0.43606	0.69992	0.68815	0.5222	0.63157	0.63863	0.56849	0.59109	0.52836	0.50973	1	0.73838
15282C	0.91308	0.73648	0.8702	0.86786	0.81565	0.81993	0.84442	0.82431	0.8093	0.6907	0.68216	0.73838	1

## **REFERENCIAS.**

- CAZALAC-UNESCO (2006) “MANUAL BREVE DE PREPARACION DE DATOS ”.
- Daniel Francisco Campos Aranda, (2007), Estimación y aprovechamiento del escurrimiento, San Luis Potosí.
- Daniel Francisco Campos Aranda, (1998), Procesos del ciclo hidrológico, San Luis Potosí.
- J.D. Salas, J.W. Delleur, V. Yevjevich and W.L. Lane, (1985), Applied Modeling of Hydrologic time Series.

# CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA DE AGUA SUPERFICIAL EN LA REGIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO SANTIAGO

Jaime RIVERA BENITES<sup>a</sup>, Ben-Hur RUIZ MORELOS<sup>a</sup>, Carlos PATIÑO GÓMEZ<sup>a</sup>,  
Jaime VELÁZQUEZ ÁLVAREZ<sup>a</sup>, Guillermo VARGAS ROJANO<sup>b</sup>, José F. SANTOS SOLÍS<sup>b</sup>,

<sup>a</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. [jrivera@tlaloc.imta.mx](mailto:jrivera@tlaloc.imta.mx),

<sup>b</sup>Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico. Guadalajara, Jalisco.

## RESUMEN

Desde el año 2005, en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) se han realizado proyectos y aplicaciones de sistemas de información geográfica (SIG) utilizando bases de datos geográficas con la estructura del modelo de datos ArcHydro para apoyar estudios dirigidos al diagnóstico y planeación del recurso hídrico, de actualización de la disponibilidad de agua superficial, de inventarios, caracterización y delimitación de áreas naturales, entre otros. ArcHydro es un modelo de datos geográfico desarrollado por el Centro de Investigación y Recursos Hídricos (CRWR) de la Universidad de Texas, que propone una estructura para almacenar en una base de datos geográfica la información espacial y temporal asociada con el recurso hídrico de un área determinada, mediante procesos realizados con el software ArcGIS®.

En este trabajo se presenta la aplicación de la herramienta ArcHydro en su componente de agua superficial para implementar una base de datos geográfica en la región hidrológica del río Santiago, que permita contar con la información centralizada y relacionada entre sí utilizando un SIG y un sistema administrador de bases de datos relacionales. Los datos espaciales que se almacenan en la base de datos corresponde a la red hidrográfica, puntos de monitoreo (estaciones climatológicas e hidrométricas), ubicación de presas, aprovechamientos superficiales inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), el Modelo Digital del Terreno (MDT), ubicación de municipios y localidades, entre otros temas. Las series de tiempo incluyen datos históricos mensuales medidos en estaciones climatológicas e hidrométricas como precipitación, evaporación, temperatura, gastos, y datos medidos en presas asociados con almacenamientos, escurrimientos, precipitación, evaporación, extracciones y derrames. Los resultados de la implementación del modelo ArcHydro son: un SIG para desplegar y consultar la información espacial y numérica asociada con el recurso hídrico superficial, una red hidrográfica totalmente conectada y con direcciones de flujo, y una nueva delimitación de las cuencas a puntos de interés como las estaciones hidrométricas o cuerpos de agua.

**Palabras Clave:** Sistemas de información geográfica, bases de datos geográficas, modelo de datos ArcHydro, recurso hídrico.

## 1 INTRODUCCIÓN

En el año 2003, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) inició con el desarrollo de capacidades en la implementación de bases de datos geográficas con estructura del modelo ArcHydro, y a partir del año 2005 ha desarrollado proyectos y aplicaciones en SIG con esta tecnología para apoyar estudios dirigidos al diagnóstico y planeación del recurso hídrico, de actualización de la disponibilidad de agua superficial, de inventarios, caracterización y delimitación de áreas naturales, entre otros.

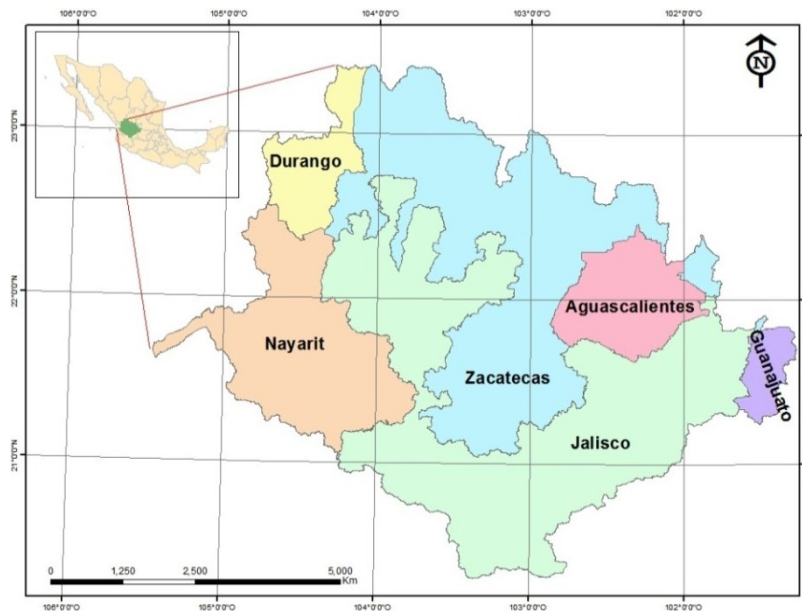
El modelo de datos ArcHydro propone una estructura para almacenar las series de tiempo y los datos geoespaciales, asociados con el recurso hídrico de un área determinada, dentro de una base de datos geográfica (geodatabase). Esta geodatabase es la columna vertebral de un sistema de información

hidrológica debido a que brinda toda la información, tanto numérica como espacial, que requieren los modelos de simulación y análisis de escenarios elaborados en cuencas. El modelo se encuentra disponible en dos versiones: la versión compacta (también denominada Framework) y la versión completa.

En este trabajo se describe la metodología empleada para crear una base de datos geográfica con aplicación de la herramienta ArcHydro en su versión completa, que permite contar con la información centralizada y relacionada entre sí utilizando un SIG y un sistema administrador de bases de datos relacionales en la región hidrológica del río Santiago.

## 2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La región hidrológica del Río Santiago abarca un área aproximada de 75,750 km<sup>2</sup> aproximadamente, lo que equivale a 4% de la extensión territorial del país. Se localiza en la parte central de la República Mexicana y comprende parcialmente los territorios de los siguientes estados: Aguascalientes (7%), Durango (5%), Jalisco (38%), Nayarit (15%), Guanajuato (2%) y Zacatecas (32%).



**Figura 1.** Localización geográfica de la región hidrológica del río Santiago.

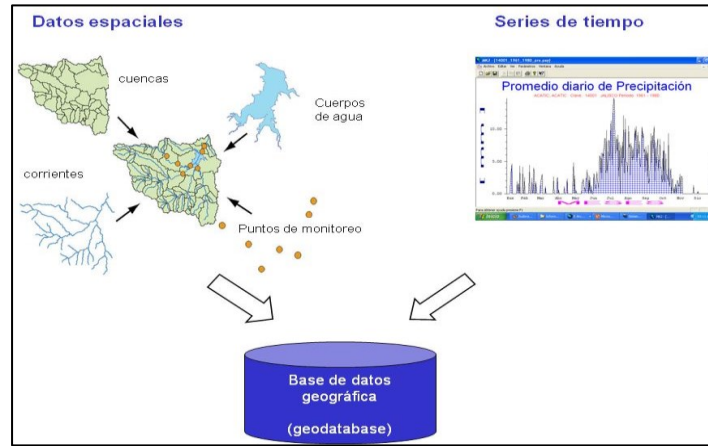
El sistema hidrológico de la región hidrológica del río Santiago está constituido por el río Santiago que es el colector principal del sistema, con poco más de 700 km de longitud, este río tiene su origen en la salida del Lago de Chapala, en donde se localiza el río Zula y la planta de bombeo Ocotlán, en el estado de Jalisco; y termina en la desembocadura al Océano Pacífico, en el estado de Nayarit. Sus principales afluentes son el Río Verde, el río Juchipila, el río Bolaños y el río Huaynamota.

## 3 METODOLOGÍA

### 3.1 EL MODELO ARCHYDRO

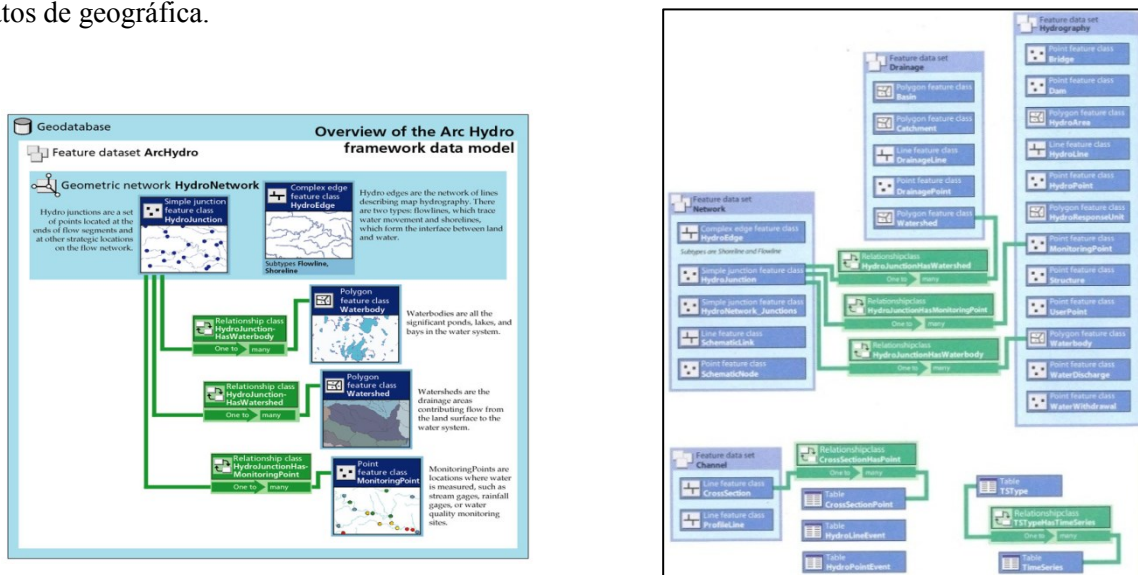
Un modelo de datos geográfico es una representación del mundo real que puede ser usada en un sistema de información geográfica (SIG) para almacenar, consultar y analizar información espacial (Maidment, 2002). ArcHydro es un modelo de datos geográfico desarrollado por el Centro de Investigación y Recursos

Hídricos (CRWR) de la Universidad de Texas, que propone una estructura para almacenar en una base de datos geográfica la información espacial y temporal asociada con los recursos hídricos de un área determinada, mediante procesos realizados con el software ArcGIS. Además, al ser una estructura de datos común para diversos proyectos y modelos hidrológicos, reduce los inconvenientes que se presentan en la información, ocasionados por la variedad de formatos en las que se genera por diversas fuentes.



**Figura 2.** Concepto de base de datos geográfica con aplicación del modelo ArcHydro (Maidment, 2002)

El modelo ArcHydro proporciona dos tipos de estructuras de datos para almacenar y representar un sistema de recursos hídricos: la versión compacta (Framework) y la versión completa. La versión compacta organiza la información en una sola componente denominada ArcHydro, mientras que la versión completa del modelo ArcHydro organiza los datos del recurso hídrico en cinco componentes dentro de la base de datos de geográfica.



**Figura 3.** Elementos del modelo ArcHydro en su versión Framework y completa (Maidment, 2002)

Los cinco componentes de la versión completa del modelo ArcHydro son: Network, Drainage, Hydrography, Channel y TimeSeries. Cada componente es un conjunto de capas. El componente Network almacena las capas relacionadas con las cuales la red hidrográfica se modela como una red geométrica. El componente Drainage permite almacenar áreas de drenaje definidas por criterios topográficos o



administrativos, y líneas de corriente obtenidas a partir de modelos digitales de elevación. El componente Channel proporciona capas para modelar canales. El componente Hydrography incluye las capas definidas en la versión Framework y capas adicionales para representar (como puntos, líneas o polígonos) otros rasgos de la superficie terrestre de interés para la modelación como presas, puntos de descarga, puntos de retiro, etc.

## **3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO**

Los procesos para la implementación de la base de datos geográfica para la región hidrológica del río Santiago utilizando el modelo de datos ArcHydro en su versión completa se detallan a continuación:

### **3.2.1 Recopilación de información**

La información vectorial y tipo raster recabada para implementar el modelo ArcHydro en la región fue: cuerpos de agua, red hidrográfica, división de cuencas hidrológicas, Modelo Digital del Terreno (MDT), cartas topográficas, ortofotos digitales, estaciones hidrométricas y climatológicas, y aprovechamientos superficiales. La fuente del conjunto de datos vectoriales escala 1:50,000 y tipo raster fue el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2007). El sistema coordenado que se utilizó fue la proyección Cónica Conforme de Lambert con los parámetros propuestos por INEGI para el país y el datum ITRF92.

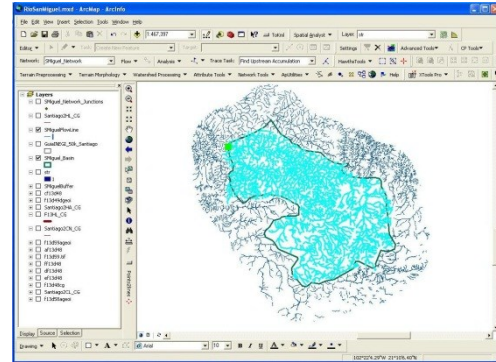
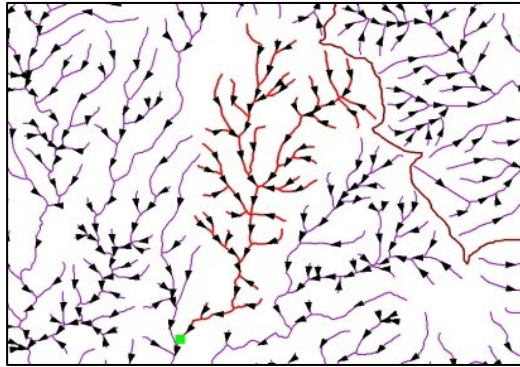
La información de series de tiempo incluye datos históricos mensuales medidos en estaciones climatológicas e hidrométricas como precipitación, evaporación, temperatura, gastos, y datos medidos en presas asociados con almacenamientos, escurrimientos, precipitación, evaporación, extracciones y derrames. La fuente de los datos históricos fue el sistema de Clima Computarizado (CLICOM) y el Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales, BANDAS (2003).

### **3.2.2 Generación de los mosaicos de datos vectoriales**

La región hidrológica del río Santiago está cubierta por un total de 124 cartas en escala 1:50,000. Con la información vectorial recabada se elaboraron los mosaicos de hidrografía, cuerpos de agua y curvas de nivel para toda la región. El procesamiento de la información vectorial y raster, para obtener los insumos requeridos por el modelo ArcHydro, se realizó por separado para cada una de las 33 cuencas que conforman la región.

### **3.2.3 Creación y trazado de la Red Geométrica**

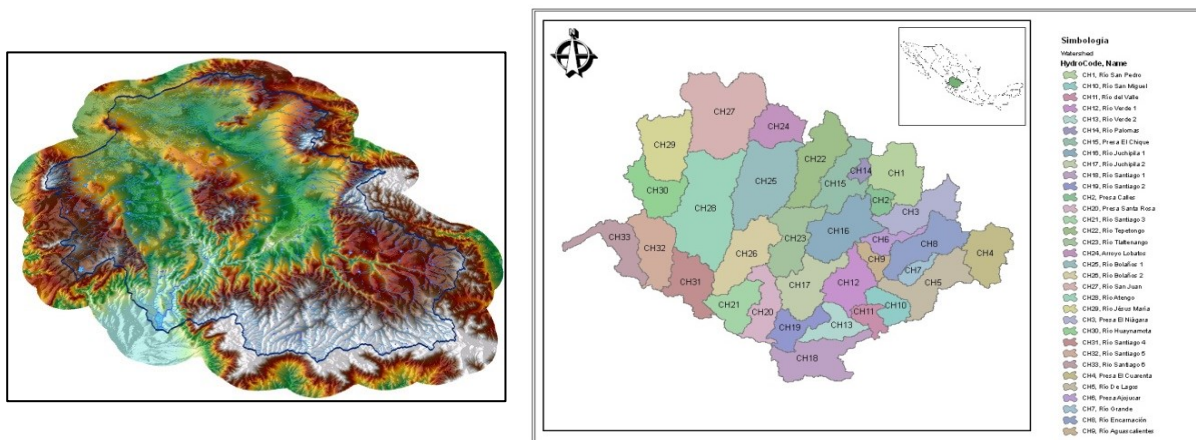
Además de realizar la digitalización de la red, también se verificó la dirección de flujo de todos los segmentos. Esta actividad se realizó con la herramienta “Network Analyst” de la plataforma ArcGIS. El objetivo del proceso de edición de la red hidrográfica es contar con una red totalmente conectada, sin ciclos y con dirección de flujo asignada. Estas características son necesarias para crear una red geométrica a partir de la hidrografía. Al modelar la red de ríos como una red geométrica, es posible trazar el flujo del agua desde un punto dado de la red hidrográfica hasta la salida de la cuenca.



**Figura 4.** Red geométrica conectada y con direcciones de flujo.

### 3.2.4 Proceso de definición de cuencas

Este proceso consistió en obtener los partaguas de las 33 cuencas de la región hidrológica del río Santiago utilizando la red hidrográfica y la información del MDT procesada para cada cuenca. Enseguida, se unieron los resultados de todas ellas para tener la región hidrológica completa mediante un proceso de Regionalización, CRWR (2005). El proceso consiste en integrar los resultados de red hidrográfica conectada, puntos de control y delimitación de áreas drenaje de cada cuenca para toda la región hidrológica. La integración comprende también el acumular todos los valores obtenidos hasta un punto de salida definido, es decir, el punto de salida comprenderá el área total de drenaje hasta ese punto y las longitudes totales de ríos.



**Figura 5.** Delimitación de las cuencas de la región hidrológica del río Santiago utilizando ArcHydro

### 3.2.5 Integración de la información histórica

Uno de los elementos del modelo ArcHydro es el de puntos de monitoreo (MonitoringPoint). El cual se representa por un mapa digital de puntos que contiene la ubicación de estaciones donde se miden parámetros relacionados con el recurso hídrico. Una tabla asociada con el tema de MonitoringPoint dentro del modelo ArcHydro es la información de series de tiempo. La tabla "TimeSeries" contiene datos diarios y

mensuales disponibles de climatología e hidrometría extraídos de los sistemas CLICOM y BANDAS respectivamente. Existen otras dos tablas dentro de la base de datos geográfica que complementan la tabla “TimeSeries”. Las tablas se denominan “TSGroup”, que contiene la fuente de donde proviene la información, y “TSType” que contiene el nombre de la variable, unidades y su intervalo de tiempo.

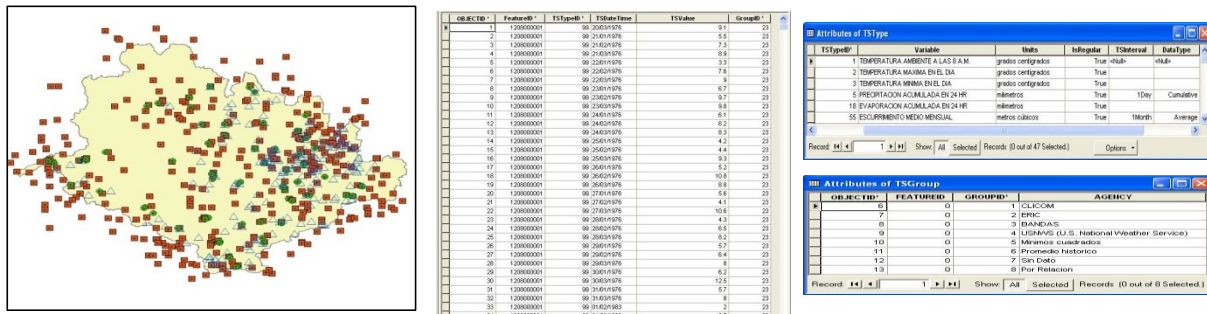


Figura 6. Puntos de monitoreo y tablas TimeSeries y auxiliares.

### 3.2.6 Aplicación del esquema ArcHydro

La base de datos geográfica con la estructura del modelo ArcHydro para la cuenca se implementó utilizando el módulo de ArcCatalog dentro del software ArcGIS. La estructura de la base de datos contiene los componentes requeridos por el modelo ArcHydro, así como información de contexto que permiten generar mapas de referencia combinando información del recurso hídrico con información sociodemográfica.

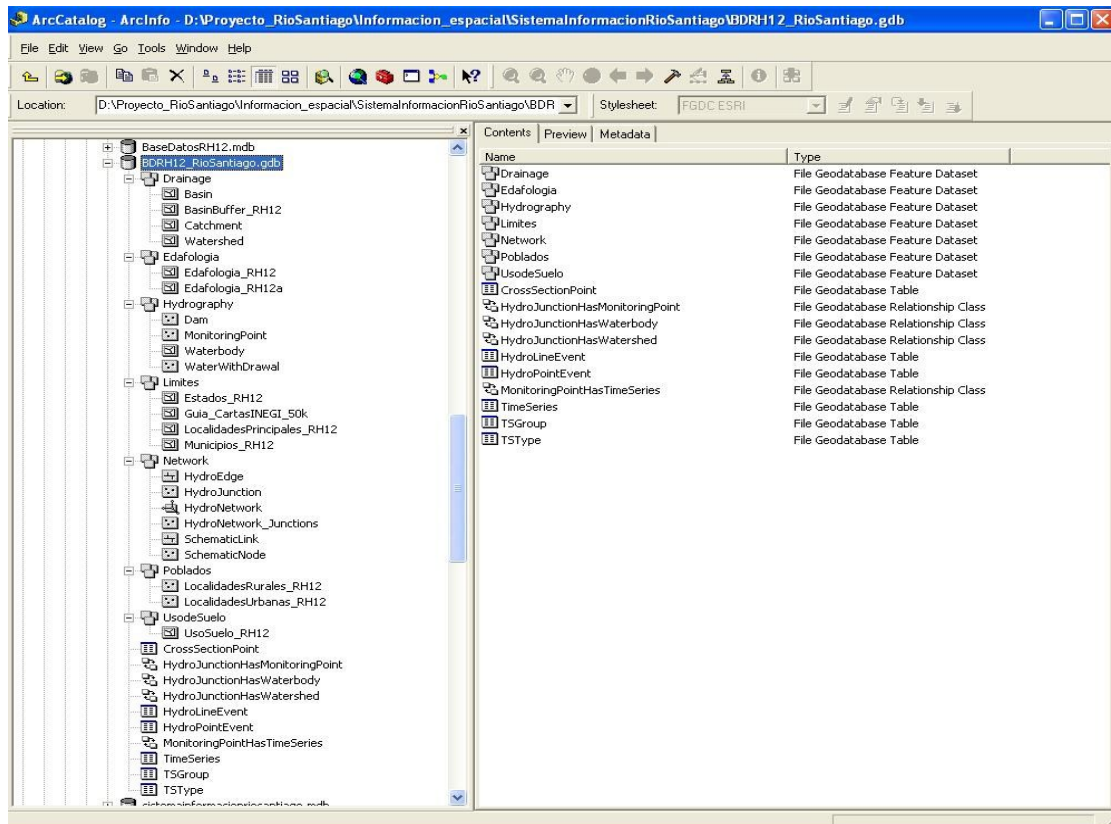


Figura 7. Estructura de la base de datos del río Santiago de acuerdo al modelo ArcHydro.

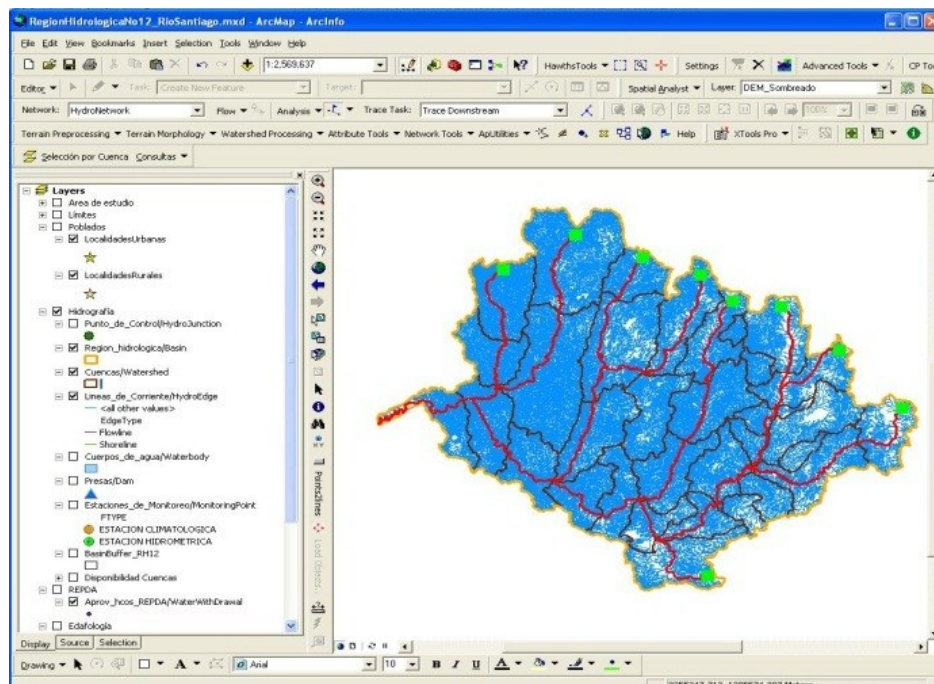
## 4 RESULTADOS

El resultado fue la creación de una base de datos geográfica con la estructura del modelo de datos ArcHydro implementada del tipo FileGeodatabase. Como se observa en la figura 7, la base de datos contiene siete componentes. Cuatro están definidos por el modelo ArcHydro: Hydrography, Drainage, Network y TimeSeries; tres más se agregaron para almacenar información de contexto como mapas de edafología, cobertura de usos de suelo, localidades urbanas y rurales, y división política. También se agregó una tabla con la información de áreas-elevaciones-capacidades de las principales presas en la región.

Además de contar con la información geográfica y numérica organizada en una sola base de datos, destacan también las siguientes aplicaciones como resultado de la implementación de la herramienta ArcHydro:

### 4.1 OBTENCIÓN DE LA TRAYECTORIA DE FLUJO DESDE CUALQUIER PUNTO DE LA CUENCA HASTA SU SALIDA

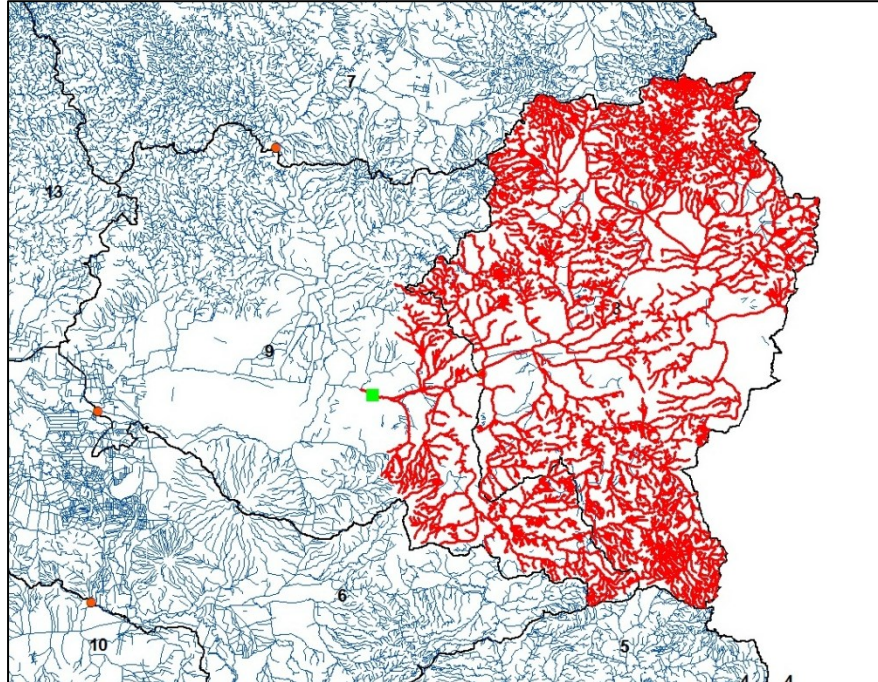
Contar con la red hidrográfica conectada, con dirección de flujo correcta y sin ciclos, permite conocer tanto la trayectoria como la distancia que sigue el agua desde cualquier punto de la región hidrológica hasta su salida. La figura 8 muestra diferentes trayectorias, en color rojo, que sigue el agua desde diferentes puntos en las partes altas de la región hasta su llegada a la salida de la región en el Océano Pacífico.



**Figura 8.** Trayectoria del flujo desde un punto de la red hidrográfica hasta la salida de la cuenca.

## 4.2 OBTENCIÓN DE LAS CORRIENTES QUE APORTAN AGUA A UN PUNTO DETERMINADO

Otra utilidad que tiene la modelación de la red de ríos como una red geométrica es la posibilidad de conocer las corrientes que aportan agua a un punto determinado.



**Figura 9.** Líneas de corriente que contribuyen con flujo a un punto de interés sobre la red hidrográfica

## 4.3 ASOCIACIÓN DE SERIES DE TIEMPO E INFORMACIÓN ESPACIAL

Una de las ventajas de tener almacenada la información geográfica en la misma base de datos donde están las series de tiempo es la posibilidad de establecer relaciones entre ellas, lo cual facilita su consulta y se favorece la integridad de los datos. Cuando se aplica el esquema del modelo ArcHydro se crean automáticamente algunas relaciones útiles en la base de datos. Por ejemplo, al seleccionar una estación climatológica es posible consultar los datos que fueron medidos en ella, y a su vez consultar en las tablas “TSType” y TSGroup” las variables medidas en la estación y la fuente de donde provienen los datos. El despliegue y consulta de la información se realiza en el módulo de ArcMap de la plataforma ArcGIS.

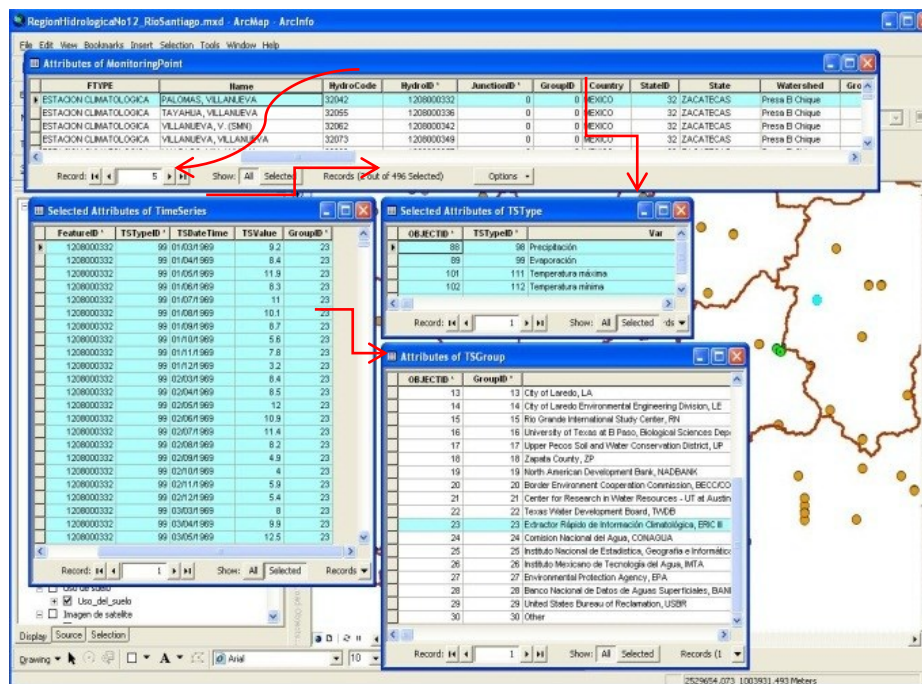


Figura 10. Consulta de series de tiempo y datos geospaciales mediante relaciones existentes.

## 5 CONCLUSIONES

La aplicación del modelo ArcHydro de aguas superficiales en su versión completa permitió organizar de una mejor forma los datos espaciales y numéricos de la región hidrológica. Entre las ventajas de implementar una base de datos utilizando esta tecnología se pueden mencionar las siguientes: a) contar con la información centralizada, b) reducir problemas asociados con la inconsistencia de la información y c) establecer relaciones entre la información geográfica y numérica.

La base de datos geográfica presentada en este trabajo es el paso inicial para conformar un sistema de información hidrológica, convirtiéndose así en una herramienta de apoyo en la toma de decisiones. Por otra parte, es importante que la información almacenada se actualice y se complemente con información de aguas subterráneas, para contar con una base de datos completa y confiable para la planificación, ejecución y operación de los proyectos encaminados al manejo sustentable de los recursos hídricos de la región.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al personal del Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico por su valiosa colaboración en las diferentes actividades para integrar la base de datos geográfica.

## REFERENCIAS

- Center for Research in Water Resources (CRWR). (2005) Documentación del curso de ArcHydro. Monterrey, N.L. México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS). México.
- Departamento de Geografía, INEGI. Conjunto de datos vectoriales y cartas topográficas imagen digital, escala 1:50,000. México.
- Maidment, David R. (2002). ArcHydro GIS for water resources. ESRI Press. Redlands, California, USA.



# EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE DATOS PARA ESTUDIOS HIDROLÓGICOS.

Fidelmar MERLOS VILLEGAS<sup>1</sup>, Sonia Tatiana SÁNCHEZ QUISPE<sup>2</sup>, Jorge Alfonso ALMANZA CAMPOS<sup>3</sup>, Constantino DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ<sup>4</sup>

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Departamento de Hidráulica, Ciudad Universitaria Edificio H, Morelia Michoacán, México. Tel 52-443-3223500 ext. 4308, [fidelmarmelos@gmail.com](mailto:fidelmarmelos@gmail.com), [soniatsq@hotmail.com](mailto:soniatsq@hotmail.com), [jorgealmanz@hotmail.com](mailto:jorgealmanz@hotmail.com), [constantinods@hotmail.com](mailto:constantinods@hotmail.com)

## RESUMEN.

Este artículo explora y analiza las metodologías desarrolladas en torno a la gestión de datos climáticos, analizando las metodologías para la evaluación de la calidad de los datos, el manejo eficiente de los mismos y las técnicas desarrolladas para el completado de series.

En los estudios hidrológicos es necesario que las series temporales de datos meteorológicos sean independientes y homogéneos por ello en el presente texto se presentan diferentes pruebas utilizadas para evaluar la consistencia y el llenado de datos en una serie de precipitación mensual total aplicadas utilizando datos de 20 estaciones y se propone una secuencia metodológica para la discretización de los datos y el completado de las series mensuales de las estaciones seleccionadas para los estudios hidrológicos.

El método expuesto en el presente artículo ha demostrado ser una secuencia efectiva para el tratamiento de los datos, previo al acostumbrado análisis de frecuencias o cualquier otro método que lleve a la construcción de las curvas IDF (Intensidad - Duración – Frecuencia).

**Palabras clave:** Gestión, Estaciones pluviométricas, Consistencia de datos, Test SNHT, Homogeneización de series.

## INTRODUCCIÓN.

A pesar de que en la actualidad se aplican diversos métodos para el completado de las series de precipitación, no se tiene una secuencia establecida fija y se aplican a criterio de cada hidrólogo. En 2012 Almanza propuso una secuencia para el completado de las series de precipitación, la cual se ha tomado como antecedente para este trabajo.

Por otra parte la evaluación de la calidad de los datos comúnmente se limita solo a la curva masa doble, siendo que el proceso en el cual se toman los datos llega a tener deficiencias trascendentes. Por lo cual se propone la aplicación de distintos test para comprobar la homogeneidad e independencia de los datos, y posteriormente realizar correcciones en los outliers o en aquellos cambios en la media que alteren las condiciones de homogeneidad e independencia de los datos.

En el trabajo actual se han tomado como ejemplo 20 estaciones procedentes de la base de datos “clicom”, cuya localización se realizó utilizando el módulo GDCLimex y el GIS(sistema de información geográfica) ArcView.

### 1) METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE DATOS.



Para el presente artículo podemos definir como gestión de datos el proceso de selección de estaciones climatológicas, evaluación de la calidad de los datos, corrección de los mismos si fuese necesarios y el proceso de completado de las series. En la figura 1 se describe gráficamente la metodología propuesta a continuación.

Una vez delimitada la zona de estudio se procede a ubicar todas las estaciones presentes en ella y mediante los procesos de preselección y selección se definen las estaciones se tomaran como principales y las auxiliares.

Después de seleccionar las estaciones se evalúa mediante test estadísticos la homogeneidad e independencia de los datos, si no cumplen las condiciones mencionadas se aplica un proceso de autocorrección utilizando la estación ficticia o la curva masa doble. Una vez completado este procedimiento se completa la serie utilizando a partir de las matrices de correlación y  $\pm 10\%$  de variación de los datos anuales.

### 1.1) PRESELECCIÓN DE ESTACIONES.

Se ubican las estaciones espacialmente y dependiendo del tipo de estudio y al área de la zona de estudio se elige una cantidad de estaciones suficiente. Se recomienda hacer la selección de estaciones con periodos de información menores a veinte años a la fecha de estudio.

### 1.2) SELECCIÓN DE ESTACIONES.

De las estaciones seleccionadas previamente se realiza una discretización para la selección de estaciones principales y las auxiliares, esto se hace evaluando los siguientes factores:

- Porcentaje de datos llenos: Se recomienda que las estaciones seleccionadas tengan un porcentaje de llenado mayor a 85%.
- Ubicación espacial: Representa la cercanía al centroide de la cuenca y el área de influencia de la estación, representada por los polígonos de Thisien.
- Cantidad de años “lentos”: Cantidad de años con vacíos menores al 10%
- Rango de años: El rango de años con lecturas, en algunas ocasiones existen años en los que las estaciones estuvieron inactivas.

Adicionalmente se recomienda establecer un periodo o rango de años de trabajo, esto dependiendo de los rangos de datos que

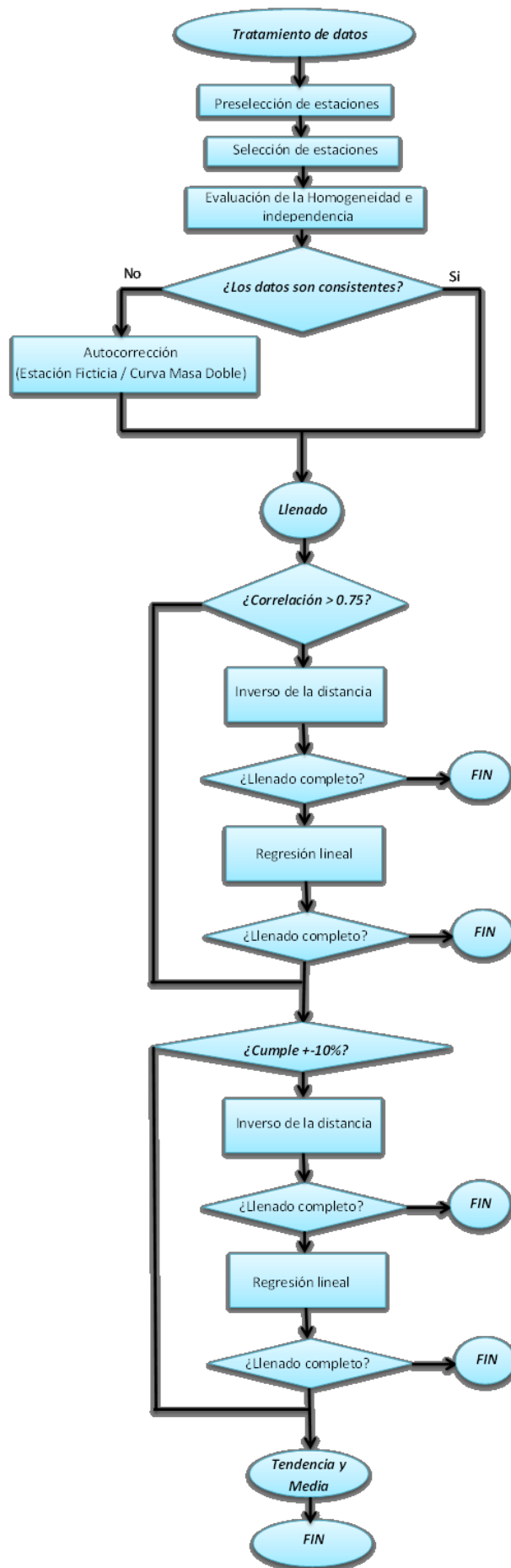


Figura 1 Metodología propuesta

tengan las estaciones principales.

### 1.3) EVALUACIÓN DE LA HOMOGENEIDAD E INDEPENDENCIA.

Mediante estos procedimientos se comprobara que los datos provienen de una sola población (son homogéneos) y son independientes uno de otro, es decir aleatorios (aunque poseen cierta autocorrelación).

Se evaluara la independencia con los test descritos a continuación. En caso de que la serie sea “no homogénea” se procederá a identificar dos tipos de errores:

- Outliers (valores fuera de rango).- Son valores que superan la media más siete veces la desviación estándar, en caso de que los resultados no sean usados para valores extremos el valor será la media más cinco veces la desviación estándar.
- Errores por cambios en la media (Test de homogeneidad standar SNHT).

#### 1.3.1) CAUSALES DE ERRORES O INCONSISTENCIAS.

Una serie cronológica de valores observados es de carácter aleatorio sencillo si todos los valores son independientes y si provienen de una misma población estadística por sorteo al azar. El carácter aleatorio puede ser alterado por:

- *Efecto de persistencia*
- *Un efecto de tendencia*
- *Efectos cíclicos o pseudo-cíclicos*
- *Errores sistemáticos de observación y de medición*

Mientras que el carácter homogéneo (una sola población) puede ser alterado por:

#### *Modificación del medio circundante al sitio de medición*

- Desplazamiento del aparato.
- Modificación del entorno.
- Por cambio de la altura del aparato.

#### *Errores debidos al aparato*

- Modificación de la superficie receptora: Si bien los aparatos tienen una superficie receptora definida y constante, se no es siempre el caso de los totalizadores, de fabricación artesanal.

#### *Errores de medición.*

Pueden provenir de una precisión diferente de las lecturas al no medir adecuadamente la probeta.

#### *Errores de anotación.*

- Error de fechas.
- Escritura errónea de la altura medida.

## 1.3.2) PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD.

### 1.3.2.1) TEST DE HELMERT.

Nos permite comprobar la homogeneidad de los datos mediante un procedimiento sencillo que se consiste en ordenar la serie cronológicamente y analizar el signo de las desviaciones con respecto a la media de cada dato. Si una desviación de un cierto signo es seguida por otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia: S, de lo contrario se considera un cambio: C.

Para comprobar que la serie es homogénea se aplica el siguiente criterio:

$$-\sqrt{n-1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n-1}$$

### 1.3.2.2) TEST DE SECUENCIAS.

Esta prueba consiste en analizar el signo de las desviaciones con respecto a la mediana muestral para cada dato y comparar el número de cambios de signo con el número de cambios permitido en base al tamaño de la muestra. Si el número de cambios esta entre los valores establecidos la serie es homogénea.

### 1.3.2.3) TEST DE T DE STUDENT.

Si se considera una serie de datos de tamaño  $n$  la cual se divide en dos partes  $n_1 = n_2 = \frac{n}{2}$ , entonces el estadístico para esta prueba se obtiene con la expresión:

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[ \frac{n_1 \cdot s_1^2 + n_2 \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{0.5}}$$

Dónde:

$\bar{x}_1, s_1$  : son la media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño  $n_1$

$\bar{x}_2, s_2$  : son la media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño  $n_2$

El valor absoluto de  $t_d$  se compara con el valor de la distribución t de Student de dos colas y con  $v = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad y para un nivel de significancia:  $\alpha = 0,05$ .

Si y solo si el valor absoluto de  $t_d$  es mayor que aquel de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia, y por lo tanto la serie se considera no homogénea. En caso contrario la serie es Homogénea.

### 1.3.2.4) TEST DE CREAMER.

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar homogeneidad en el registro de la serie, y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un período de tiempo a otro. Con este propósito se consideran tres bloques, el primero del tamaño total de la muestra  $n$ , el segundo de tamaño  $n_{60}$  (últimos 60% de los valores de la muestra) y el tercero de tamaño  $n_{30}$  (últimos 30% de los valores de la muestra).

La prueba compara el valor  $\bar{Q}^j$  del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos. Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los dos bloques.

$$\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}$$

Si se analiza solamente una muestra  $j = 1$ .

$$S_Q^j = \sqrt{\frac{1}{(n_j - 1)} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2}$$

$$\bar{Q}_{60}^j = \sum_{k=1}^{n=60} \frac{Q_k^j}{n_{60}} \quad \bar{Q}_{30}^j = \sum_{k=1}^{n=30} \frac{Q_k^j}{n_{30}} \quad \tau_{60}^j = \frac{\bar{Q}_{60}^j - Q^j}{S_Q^j} \quad \tau_{30}^j = \frac{\bar{Q}_{30}^j - Q^j}{S_Q^j}$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w \cdot (n_j - 2)}{n_j - n_w \cdot [1 + (\tau_w^j)^2]} \right\}^{0.5} |\tau_w^j|$$

El estadístico  $t_w$  tiene distribución t de Student de dos colas con  $v = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad y para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

Si y solo si el valor absoluto de  $t_w$  para  $w = 60$  y  $w = 30$ , es mayor que el de la distribución t de Student se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie se considera no homogénea. En caso contrario la serie es Homogénea.

### 1.3.2.5) PRUEBA ESTÁNDAR DE HOMOGENEIDAD NORMAL (SNHT).

Este es un test muy difundido y del cual se han desarrollado versiones para analizar cambios en la media, la varianza y la tendencia de la serie. Además es un test aplicado a una gran variedad de variables.

- La hipótesis nula será la homogeneidad de la serie.
- El método trabaja con la serie normalizada:

Metodología:

- 1) Se obtienen las estaciones de referencia (puede hacerse con una o varias). Se recomienda el uso de la estación ficticia.
- 2) Se forma una serie de cocientes  $q_i$  entre ambas estaciones.

$$q_i = \frac{S_{i1}}{f(S_{i2})}$$

$$f(S_{i2}) = \frac{1}{k} ($$

- 3) Se forma una serie de cocientes  $z_i$ :

$$z_i = \frac{q_i - \bar{q}_i}{S_q}$$

Sea  $1 \leq v \leq N$  y  $u_1 \neq u_2$ , donde N es el número de años de datos disponibles.

Se desea probar la hipótesis nula:

$$H_0: z_i \sim N(0,1)$$

con respecto a la hipótesis alternativa:

$$H_1: z_i \sim N(u_1, 1) \quad i \leq v$$

$$H_1: z_i \sim N(u_2, 1) \quad i > v$$

La hipótesis nula implica que la media de la serie estandarizada  $z_i$  no cambia con el tiempo, mientras que la hipótesis alternativa indica que para algún tiempo  $v$  existe un cambio en la media de la serie.

El estadístico de prueba para determinar si existe un cambio en la media de la serie  $z_i$  es:

$$T_o = \max_{1 \leq v \leq N} \{T_v\}$$

Dónde:

$$T_v = v\bar{z}_1^2 + (N - v)\bar{z}_2^2$$

$z_1$  y  $z_2$  son las medias muestrales de los primeros y últimos  $(N - )$  valores de la serie  $z_i$ . Si  $T_0$  es mayor que cierto nivel crítico para determinado nivel de significancia de la prueba, por ejemplo, del 95%, se rechaza la hipótesis nula de homogeneidad de la serie.

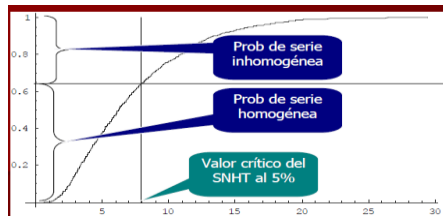


Figura 2.- Test SNHT

N	T90%	T95%	N	T90%	T95%
25	6.55	7.75	400	8.7	10
50	7.25	8.55	450	8.75	10.1
75	7.65	8.95	500	8.85	10.2
100	7.8	9.15	550	8.9	10.25
150	8.05	9.35	600	8.95	10.3
200	8.2	9.55	650	8.95	10.4
250	8.35	9.7	700	9	10.45
300	8.5	9.8	750	9.05	10.5
350	8.6	9.9	800	9.05	10.5

Tabla 1.- Valores críticos de la prueba con

$\alpha=0.05$  y  $\alpha=0.10$ .

### 1.3.3) PRUEBAS DE INDEPENDENCIA.

#### 1.3.3.1) TEST DE ANDERSON.

La prueba de independencia de Anderson (Salas, 1998 ) hace uso del coeficiente de autocorrelación serial para diferentes tiempos de retraso " $k$ ". En el caso de analizar un solo registro, entonces  $j = 1$ .

La expresión para obtener el coeficiente de autocorrelación serial de retraso  $k$ :

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (Q_i^j - \bar{Q}^j)(Q_{i+k}^j - \bar{Q}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2}$$

Para  $k = 1, 2, 3, 4, \dots, \frac{n_j}{3}$

Dónde:

$$\bar{Q}^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Q_i^j}{n_j}$$

Los límites al 95% de confianza para se pueden obtener con:

$$r_j^k(95\%) = \frac{-1 \pm \sqrt{n_j - k - 1}}{n_j - k}$$

Si no más del 10% de los valores sobrepasan los límites de confianza, se dice que la serie es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad.

### 1.3.3.2) CORRIDAS DE WALD-WOLFOWITZ.

Los procedimientos estadísticos paramétricos consisten en la aplicación de ecuaciones matemáticas que tienen como condición necesaria la existencia de una particular y reconocida distribución de la población.

Para probar la aleatoriedad, la hipótesis nula es:

-H0: El proceso que genera el conjunto de datos numéricos es aleatorio.

y la hipótesis alternativa:

-H1: El proceso que genera el conjunto de datos numéricos no es aleatorio. La hipótesis nula, de aleatoriedad, puede probarse mediante la observación del orden o de la secuencia en que se obtienen los elementos de la muestra. Si a cada elemento se le asigna uno de dos términos, como E y F (por éxito y fracaso), dependiendo de si la medida es mayor o menor a un cierto valor, la aleatoriedad de la secuencia puede ser investigada. Si ésta es generada de manera aleatoria, el valor (E o F) de un elemento será independiente tanto de su posición en la secuencia como del valor de los elementos que le preceden.

Procedimiento de la prueba:

-Dividir la muestra en dos partes, tomando como valor de referencia la media.

-Determinar el estadístico Z:

$$z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R^2}$$
$$\mu_R = \frac{2 \cdot n_1 \cdot n_2}{n} + 1$$

La desviación estándar de R es:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{(\mu_R - 1)(\mu_R - 2)}{n - 1}}$$

### 1.3.4) CORRECCIÓN POR ESTACIÓN FICTICIA

Este proceso consiste en:

- Crear una “estación ficticia” mediante interpolación en la ubicación de la estación a corregir.
- Detectar y eliminar los outilers (valores superiores a la media más siete veces la desviación estándar) y cambios en la media utilizando los procesos descritos anteriormente.
- Sustituir los valores eliminados con aquellos pertenecientes a la estación ficticia.

### 1.3.5) METODOLOGIAS PARA LA ELECCION DE LAS ESTACIONES AUXILIARES EN EL LLENADO

Para hacer la selección de las estaciones utilizadas para el llenado se proponen dos criterios:

- Correlación espacial de datos (Matriz de correlación)

- Variación de las medias anuales de las estaciones (Matriz  $\pm 10\%$ )

### 1.3.5.1) CORRELACIÓN ESPACIAL DE DATOS:

El coeficiente de correlación lineal representa una comparación sobre la tendencia de los datos presentes en dos series procedentes de diferente estación. Existen varias metodologías para obtener el coeficiente de correlación, la utilizada en el presente artículo es la descrita por Aparicio (1992):

$$\rho = \beta \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$$

Dónde:

$\sigma_x$  = desviación estándar de la serie x;  $\sigma_y$  = desviación estándar de la serie y.

$$\alpha = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i y_i \sum x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$\beta = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Una vez obtenida la "Matriz de correlación" se procede a seleccionar las "estaciones útiles" para el llenado de series se recomienda elegir aquellas que poseen un coeficiente de correlación mayor o igual a 0.75 con la "estación base" (estación a llenar).

### 1.3.5.2) VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (MATRIZ $\pm 10\%$ ).

En esta condición se obtienen los cocientes entre la precipitación media anual de las estaciones, de manera que:

$$\% = \frac{P_i}{P_j} * (100)$$

Este es el segundo método propuesto para la selección de estaciones, a pesar de ser empírico nos da un parámetro para seleccionar las estaciones útiles para el llenado, una vez que el proceso de selección anterior (correlación  $\geq 0.75$ ) no da como resultado un "llenado completo".

Nota: Después de seleccionar las estaciones útiles se aplican los métodos de llenado de datos propuestos con estas series.

### 1.3.6) METODOS PATA EL LLENADO DE SERIES

#### 1.3.6.1) MÉTODO DEL INVERSO DE LA DISTANCIA AL CUADRADO.

Para la aplicación de este método es necesario contar con las coordenadas (x,y,z) de las estaciones, ya que el primer paso para aplicar esta secuencia es la obtención de la "Matriz de distancias euclidianas"; entendiéndose como distancia euclidiana:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

Dónde:

$x_1$  = Coordenada x de la estación 1;  $y_1$  = Coordenada y de la estación 1;  $z_1$  = Coordenada z de la estación 1.

$x_2$  = Coordenada x de la estación 2;  $y_2$  = Coordenada y de la estación 2;  $z_2$  = Coordenada z de la estación 2.

Una vez obtenida la matriz de distancias euclidianas se obtiene una matriz similar con el inverso de los valores determinados en la matriz anterior, se denomina “*Matriz del inverso de la distancia al cuadrado*”.

Para obtener el dato faltante en la estación base se obtiene un peso por estación ( $W_i$ ) a utilizar y se calcula el dato con la siguiente formula:

$$W_i = \frac{(\text{Inv. Dist. Eucli } i)^2}{\sum_i^n (\text{Inv. Dist. Eucli.})^2}$$
$$\text{Dato faltante} = \sum_{i=1}^n (W_i * P_i)$$

Dónde:

$W_i$  = *Peso de la estacion i*;  $P_i$  = *Peso de la estacion i*;  $i = 1 \dots n$  Estaciones útiles para el llenado.

Nota: Se recomienda aplicar este método cuando se tienen por lo menos tres estaciones útiles.

### 1.3.6.2) REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

La regresión lineal simple es el método más difundido para el completado de series climatológicas, a pesar de sus deficiencias cuando se habla de valores extremos. Las ventajas de este método son su simplicidad y que únicamente se requiere de una estación para hacer este llenado. En este método se analiza la influencia de una serie con respecto a otra.

$$\text{Dato faltante} = m * P_i + b$$

Dónde:

$P_i$  = *Precipitacion en la estacion i*;  $m$  y  $b$  *Son parametros de la ecuacion de la linea recta.*

### 1.3.6.3) LLENADO BASADO EN LA TENDENCIA.

En función de los valores conocidos se obtiene una tendencia de los datos, la cual permite predecir el dato faltante de una forma estimada, dependiendo la tendencia que tengan los datos conocidos.

### 1.3.6.4) LLENADO BASADO EN LA MEDIA.

Se calcula la media de los datos conocidos y se sustituye en los vacíos que los procesos anteriores no eliminaron, aclarando que nos referimos a la media mensual (en caso de ser llenado mensual).



## 2) APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA A LA CUENCA DEL “RIO ALMOLOYA”.

- 1) Preselección de estaciones. La ubicación de las estaciones en la zona se realizó mediante el módulo GDCLimex. Las cuales se ubican en la figura 3.
- 2) Selección de estaciones. Se eligieron como estaciones principales las marcadas en amarillo en la tabla 2, y las demás se utilizaran como estaciones auxiliares. Ubicándolas en ArcViwe, en la figura 4.
- 3) Se ha evaluado la homogeneidad de los datos, obteniendo los resultados de la tabla 3.
- 4) Se han corregido las estaciones por el proceso descrito anteriormente.
- 5) Se han obtenido las matrices de correlación y del inverso de la distancia euclidiana.

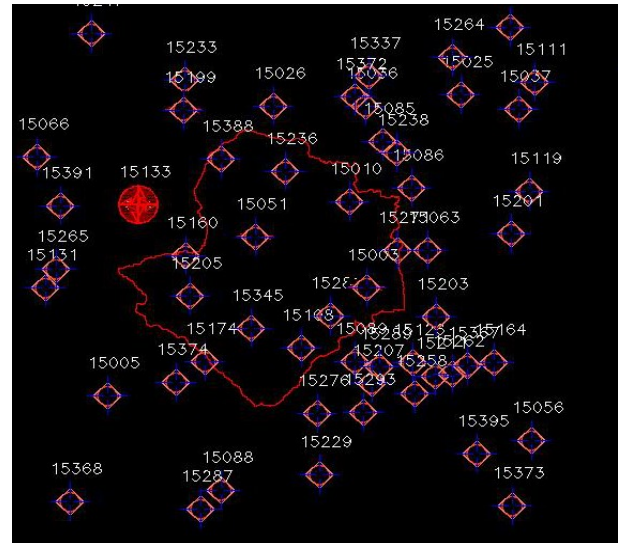


Figura 3.- Ubicación de estaciones en la zona

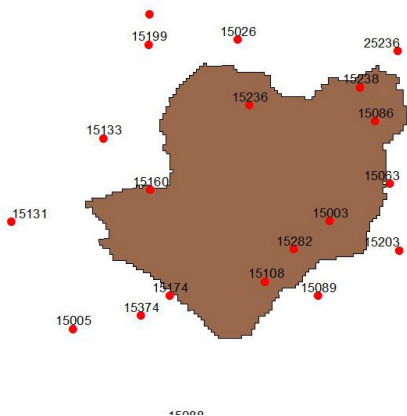


Figura 4. Ubicación de las estaciones ArcViwe

Codigo	Nombre	Procedencia %	Años llenos	Dist.Eucli	
15199	MINA VIEJA	Clicom	95.29	28	20800
15026	ENYEJE	Clicom	83.82	32	18622
15233	SABINAS HID	Clicom	85.86	16	23858
15133	DOLORES HI	Clicom	73.58	29	16967
15131	VILLA DE ALL	Clicom	99.21	22	26290
15160	SANTIAGO D	Clicom	95.47	29	10140
15174	PALO MANC	Clicom	79.53	21	13665
15374	AGUA BENDI	Clicom	77.65	7	17610
15005	AMANALCO	Clicom	67.59	17	24256
15108	STA MARIA	Clicom	94.78	25	10440
15088	SAN FCO OX	Clicom	87.02	11	26879
15089	SAN FCO	Clicom	91.12	32	14400
15282	TRES BARRA	Clicom	91.39	18	8553
15003	ALMOLOYA	Clicom	82.38	24	10707
15203	CALIXTLAHU	Clicom	98.65	28	18241
15063	NUEVA STA	Clicom	95.43	40	16394
15086	SAN BERNAB	Clicom	92.63	23	18300
15010	ATOTONILCC	Clicom	93.89	27	11300
15238	STA MARIA	Clicom	94.01	22	19199
15236	OCOVOTEPE	Clicom	83.51	12	11890
15238	SANTA MARI	Clicom	94	30	15300

Tabla 2.- Elección de estaciones principales

Codigo	Nombre	Helmert	Secuencias	t de Student	Cramer	Anderson	Wald-Wolfowitz
15199	MINA VIEJA	Homogenea	Homogenea	Homogenea	No Homogenea	Independiente	Independiente
15026	ENYEJE	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15233	SABINAS HIDALGO	Homogenea	Homogenea	No Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15133	DOLORES HIDALGO SMN	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15131	VILLA DE ALLENDE	Homogenea	No Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15160	SANTIAGO DEL MONTE	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15174	PALO MANCORNADO	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15374	AGUA BENDITA	No Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15005	AMANALCO DE BECERRA	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15108	STA MARIA DEL MONTE	Homogenea	No Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15088	SAN FCO OXTOTILPAN	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15089	SAN FCO	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15282	TRES BARRANCAS	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15003	ALMOLOYA DE JUAREZ	No Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15203	CALIXTLAHUACA	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15063	NUEVA STA ELENA	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15086	SAN BERNABE	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15010	ATOTONILCO	No Homogenea	Homogenea	No Homogenea	Homogenea	Independiente	No Independiente
15238	STA MARIA DEL LLANO	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15236	OCOVOTEPEC	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente
15238	SANTA MARIA DEL LLANO	No Homogenea	No Homogenea	Homogenea	Homogenea	Independiente	Independiente

Tabla 3.- Evaluación de la homogeneidad de las series de precipitación.

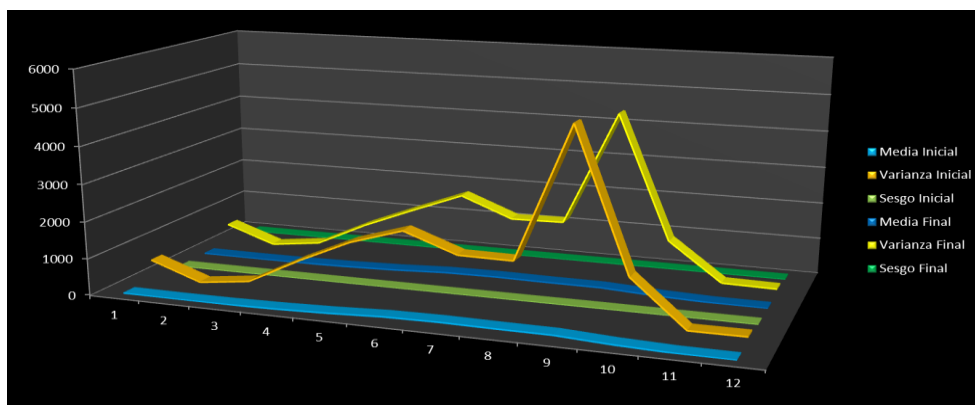
- 6) Se aplica la secuencia de llenado seleccionando las estaciones con correlación  $\geq 0.75$ .  
Nota: En la regresión lineal se deben determinar coeficientes  $m$  y  $b$  a nivel mensual.
- 7) Si no se ha completado el llenado se eligen estaciones en base a la matriz  $\pm 10\%$ , con las cuales se aplican nuevamente los métodos de llenado.
- 8) Los vacíos restantes se eliminan aplicando el llenado en base a la tendencia y la media.

## CONCLUSIONES

En el presente artículo se ha descrito una metodología completa para el tratamiento de datos climáticos, en particular para las series de precipitación. La metodología como se muestra en la figura 5 muestra una variación muy pequeña al completarse la serie, esto en cuanto a los estadísticos básicos (media, desviación estándar, sesgo).

A causa de la poca calidad en la toma de datos es muy relevante evaluar la homogeneidad e independencia de la serie, para lo cual se han propuesto varios test de tipo estadístico. Para posteriormente de ser necesario aplicar un proceso para homogeneizar los datos, mismo que ha sido probado y difundido por diferentes investigadores en Estados Unidos y en Europa.

Una vez establecido el proceso para la evaluación de la consistencia y su posterior homogeneización se han evaluado diferentes metodologías de llenado, obteniendo mejores valores al aplicar el método descrito anteriormente. Tomando como el método más eficaz el inverso de la distancia al cuadrado, esto para cuando se tienen más de dos estaciones disponibles para el proceso de llenado, mientras que si solo se tiene una estación disponible se recomienda aplicar la metodología de la regresión lineal, teniendo cuidado con los valores extremos, debido a que es probable obtener valores incoherentes.



**Figura 5.-** Resultados del proceso.



# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS SWAT Y PATRICAL

Alejandra Correa González<sup>1</sup>, Sonia Tatiana Sánchez Quispe<sup>2</sup>, Mario Alberto Hernández Hernández<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo. Santiago Tapia No. 403 Colonia Centro  
C.P. 58000 Morelia, Michoacán. E-mail: decoazulale@hotmail.com,soniatsq@hotmail.com,  
Universidad Politécnica de Valencia, España. E-mail: albertohh@live.com<sup>3</sup>

Modalidad de participación: Oral.

Mesa 1: Modelos y análisis de procesos biofísicos a nivel de cuenca

## RESUMEN

En la actualidad se está presentando una crisis por la disponibilidad del agua debido a muchos factores como son el crecimiento poblacional, el crecimiento urbano, el cambio climático entre otros; aunado a esto se presenta una crisis de calidad del agua en la cual la calidad de esta determinará el uso que se le pueda dar disminuyendo la cantidad de agua apta para el consumo humano.

Los modelos matemáticos nos dan un panorama global del comportamiento de las cuencas hidrográficas siendo estas la unidad fundamental para el buen uso y gestión hídrica, es necesario conocer su funcionamiento para plantearnos alternativas futuras de solución de problemas hídricos o en su caso planes de manejo para evitar crisis por el recurso agua. De acuerdo al tipo de modelo que queramos utilizar tendremos una necesidad mayor de datos de entrada o menor cantidad de datos para la calibración.

La calibración del modelo conceptual PATRICAL con pocos datos puede arrojar resultados poco probables por lo cual es necesario validarlo con otros modelos que por su concepción no requieren un gran periodo de datos históricos como es el caso de SWAT; sin embargo para determinar si nos puede servir como calibrador es necesario realizar un análisis comparativo de los modelos.

**Palabras clave:** Ciclo hidrológico, modelación matemática, análisis comparativo, red superficial, transporte de nitratos

## 1. INTRODUCCIÓN

El problema fundamental con la disponibilidad del agua es que la cantidad del líquido es prácticamente invariable y no así la demanda de una población creciente que requiere mayor cantidad de alimentos, productos manufacturados y energía. El tema de la escasez y calidad es por tanto uno de los más importantes de la agenda ambiental global; sin embargo existen cuencas en las cuales su funcionamiento hidrológico parece impredecible debido a la falta de estaciones hidrométricas, pluviométricas, climatológicas y de calidad del agua.

La modelación hidrológica permite reproducir el ciclo del agua a nivel de cuenca así como los fenómenos relacionados a este (escorrentía, infiltración, etc.). Existen un gran número de modelos hidrológicos, los cuales por su concepción trabajan de diferente manera y se pueden clasificar en función de la relación entre la precipitación y la generación de la escorrentía (empíricos, conceptuales, teóricos o físicamente), la consideración de la cuenca (distribuidos, agregados y subagregados) y el objetivo de estudio (evento o balance continuo).

Existen una gran cantidad de modelos hidrológicos que incorporan módulos de calidad del agua; el número se reduce a los modelos que realizan la modelación conjunta de red superficial-subterránea; sin embargo es necesario tener un panorama global del sistema cuenca-acuífero para establecer el funcionamiento hidráulico que se presenta así como las posibles alteraciones que se presente en su recorrido a través del sistema.

## **2. OBJETIVO**

El objetivo del siguiente trabajo realizar la comparación de la formulación del modelo PATRICAL respecto a SWAT con el fin de de establecer compatibilidad entres estos para poder ser utilizado como herramienta de calibración en cuencas donde no exista los suficientes datos.

## **3. MATERIALES Y MÉTODOS APLICADOS**

El modelo PATRICAL (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua)(Pérez, 2005) desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia (España), es un modelo del ciclo hidrológico distribuido espacialmente, con paso de tiempo de simulación mensual, integrado a un módulo de calidad del agua para la modelación del transporte de contaminantes como son los nitratos y conductividad eléctrica.

Este modelo incorpora las características del modelo SIMPA (Sistema Integrado Precipitación Aportación) (Ruiz, 1998), el cual aplica la formulación de Témez de manera distribuida de simulación continua mensual integrado con un sistema de información geográfica GRASS (Estrela, 1996b).

Por su parte el modelo SWAT (Soil and WaterAsseementTool) (Arnold et al., 1993) desarrollado por el Servicio de Investigación agrícola de Estados Unidos, ARS (AgriculturalResearchService), es un modelo subagregado y físicamente basado a escala de cuenca que permite simular el ciclo hidrológico incorporando la propagación en cauces, el crecimiento vegetal, la erosión, el transporte de sedimentos, el ciclo de los nutrientes que se utiliza para predecir los impactos.

El modelo SWAT incorpora diversos aspectos de anteriores modelos del ARS, y fundamentalmente es la evolución del modelo SWRRB (Simulator forWaterResources in Rural Basins) (Williams et al., 1985; Arnold et al., 1990) desarrollado para la simulación continua de las fuentes difusas de contaminación, que estaba basado a su vez en otros modelos como el CREAMS (Chemicals, Runoff, and ErosionfromAgricultural Management Systems) (Knisel, 1980).

El modelo SWAT trabaja integrado a un sistema de información geográfica (SIG), para realizar el manejo y visualización de la información de una manera más simple y cómoda para el usuario; se puede integrar al SIG Arc Gis o trabajar como una extensión de Arc View.

## **4. RESULTADOS**

En PATRICAL la modelación se realiza en la red superficial (escorrentía generada en la cuenca), el acuífero (el agua que infiltra y forma parte de la recarga); considerando en presencia o ausencia de bombes; además de realizar el transporte de nitratos a través de la cuenca.

Para la generación de escorrentía e infiltración se utiliza la fórmula de Témezla cual consiste en la aplicación de un modelo conceptual sencillo, empírico de pocos parámetros para determinar el excedente generado que puede infiltrar o escurrir. Puede pasar al acuífero en donde se considera un acuífero unicelular en el cual plantea la hipótesis que el volumen del acuífero es proporcional al caudal de drenaje para acuífero en donde se considere tenga conexiones con la red superficial.

La ley de excedentes, en cada celda sobre la que cae precipitación líquida, adopta la expresión de la ecuación (1)

$$T_{ij,t} = \frac{(P_{lij,t} - P_{oij,t})^2}{P_{lij,t} + \delta_{ij,t} - 2 \cdot P_{oij,t}}, \quad (1)$$

Donde,  $\delta_{ij,t} = H_{maxij} - H_{ij,t-1} + EP_{ij,t}$  y  $P_{oij,t} = C \cdot (H_{maxij} - H_{ij,t-1})$ , Siendo,  $P_{lij,t}$ , la precipitación líquida sobre cada celda “ij” durante el mes “t”,  $T_{lij,t}$ , el excedente en cada celda “ij” durante el mes “t”,  $H_{maxij}$ , el parámetro capacidad máxima de almacenamiento hídrico en el suelo en cada celda “ij”,  $H_{ij,t-1}$ , la humedad en la zona superior del suelo en cada celda “ij” en el mes “t-1”,  $EP_{ij,t}$ , la evapotranspiración potencial en la celda “ij” en el mes “t”, es la evapotranspiración que se produciría en condiciones óptimas de suministro de agua en cada una de las celdas, C, el coeficiente de excedente, porcentaje sobre el hueco libre a partir del cual se produce escorrentía,  $(H_{maxij} - H_{ij,t-1})$  el hueco libre existente en el suelo en el mes “t”.



Figura 1. Esquema conceptual del transporte del nitrato en el modelo PATRICAL

El modelo de transporte de contaminantes considera el movimiento del nitrato o conductividad eléctrica por medio de la escorrentía, que puede ser retenido en el medio no saturado y permanecer en el suelo o pasar al acuífero para ser parte de la escorrentía subterránea (Figura 1)

Para el cálculo de la escorrentía en el modelo SWAT se tiene dos opciones: el método de número de curva (SoilConservationService, 1972) (como se muestra en la ecuación (2)),

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \text{ con } P > I_a, \quad (2)$$

Donde,  $Q$ , es la cantidad de escorrentía generada (mm),  $P$ , es la precipitación (mm),  $S$ , es la capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo (mm),  $I_a$ , es la abstracción inicial (mm), almacenamiento en depresiones, infiltración y evaporación, y el método de infiltración (Green & Ampt, 1911).

De forma análoga el excedente que se genera puede pasar al acuífero o escurrir.

En este modelo se considera dos tipos de acuífero: un acuífero superficial en el cual se considera no confinado y puede presentar otros fenómenos como bombeos, movimientos laterales, conexiones con la red superficial y transporte de nutrientes y el acuífero profundo en el cual se considera un acuífero confinado el cual no participa en ningún otro fenómeno simplemente el modelo considera que sale del sistema.

SWAT monitorea cinco diferentes formas de nitrógeno en el suelo. Dos son formas inorgánicas de nitrógeno  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3^-$ , mientras las otras tres formas son orgánicas. El nitrógeno orgánico fresco se asocia con residuos de cultivo y biomasa microbiana mientras que en nitrógeno orgánico estable y activos se asocian con el humus del suelo; realizan transformaciones de estos compuestos mediante fenómenos de mineralización, volatilización, nitrificación, desnitrificación; además de contemplar el transporte de nitratos a través del suelo para permanecer en el acuífero superficial o ser transportado por la escorrentía. (Figura 2)

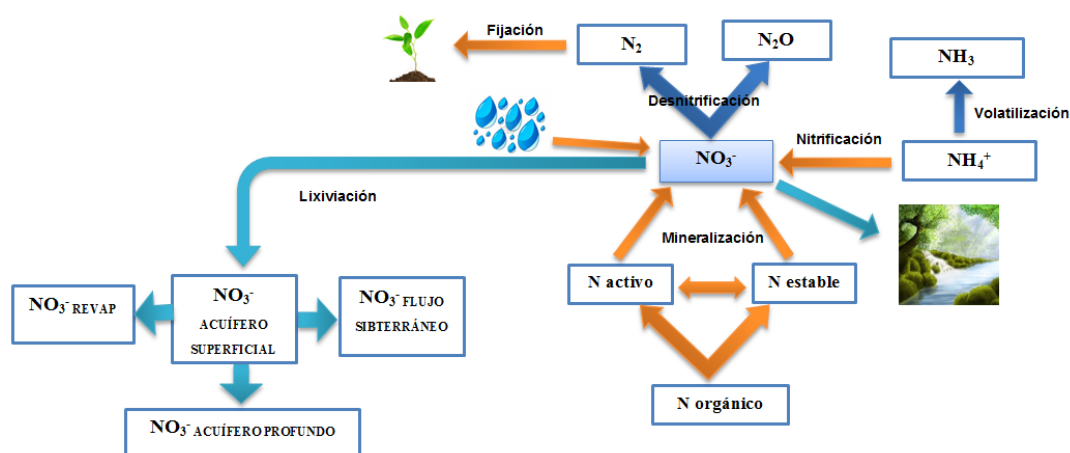


Figura 2. Esquema conceptual de la modelación de nitratos en la cuenca con el modelo SWAT

Los algoritmos de calidad del agua en corrientes de SWAT, incorporan componentes de interacción y relación utilizados en el modelo QUAL2E (Brown y Banwell, 1987). El modelo de nutrientes en el flujo interno es una característica opcional para SWAT; en el cual se realiza una transformación gradual del nitrógeno orgánico al amoníaco, al nitrito y al nitrato. Además de tener un modelo simple de modelación de embalses considerando el fenómeno de sedimentación sin considerar transformaciones dentro del almacenamiento.

## 5. CONCLUSIONES

La ecuación para generación de excedente que se plantea es similar en ambos modelos pues la fórmula de Témez, deriva de la fórmula de número de curva.

Se considera una recarga al acuífero que en ambos casos es no confinado, con las variaciones que en SWAT sólo modela el gasto aportado al acuífero y PATRICAL, permite modelar las alteraciones que se están presentando dentro del acuífero por medio de niveles piezométricos.

En lo que respecta al modelo de nutrientes SWAT, realiza la modelación del ciclo del nitrógeno, el transporte de nitratos a través de la cuenca, considera las transformaciones en las corrientes y aunque muy básico también contempla la modelación en embalses; por otro lado el modelo PATRICAL solo realiza transporte de nitratos a través de la cuenca.

Al ser el transporte de nitratos en PATRICAL más primitivo se tiene que los datos que genera, calcule y calibre en SWAT podrán servir de calibración a PATRICAL.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada y la oportunidad de adquirir los conocimientos para este estudio.

## REFERENCIAS

Miguel Ángel Pérez Martín. (2005). *Modelo distribuido de simulación del ciclo hidrológico y calidad del agua, integrado es sistemas de información geográfica, para grandes cuencas*. Aportación Al Análisis De Presiones E Impactos De La Directiva Marco Del Agua. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral

- Arnold, J. G., S. L. Neitsch, and J. R. Williams. 2002. *"SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL" User's Manual. Version 2000.2*. Blackland Research Center. Texas Agricultural Experimental Station. 808 East Blackland Road-Temple, Texas 76502.
- Arnold, J. G., S. L. Neitsch, and J. R. Williams. 2005. *"SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL, THEORETICAL DOCUMENTATION, VERSION 2005"*. Blackland Research Center. Texas Agricultural Experimental Station. 808 East Blackland Road-Temple, Texas 76502.





# MODELACIÓN DEL ACUÍFERO MORELIA-QUERENDARO CON AQUIVAL

Julio Cesar SOLÍS DE LA PAZ <sup>a</sup> Sonia Tatiana SÁNCHEZ QUISPE <sup>b</sup> Joel HERNÁNDEZ  
BEDOLLA <sup>c</sup>

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Santiago Tapia 403 Morelia Michoacán, email:  
<sup>a</sup>juliocesar0655@hotmail.com, <sup>b</sup>soniatsq@hotmail.com, <sup>c</sup>ing\_joel\_hb@hotmail.com,

## RESUMEN

El crecimiento de la población tanto a nivel nacional como estatal ha provocado un aumento en la demanda de los bienes de servicio, entre estos, el suministro a la demanda de agua a los diferentes usos ocasionando serios problemas de disponibilidad del recurso, así como también una mala administración del agua disponible por parte de los organismos operadores, lo que ha provocado en materia de agua subterránea un déficit en la disponibilidad de la misma trayendo como consecuencia la veda de varios acuíferos, un claro ejemplo de ello es el acuífero Morelia-Queréndaro. Aunado a esto se debe mencionar la poca utilización de Sistemas de Apoyo a la Decisión que permitan gestionar de manera eficiente y conjunta los recursos hídricos tanto de origen superficial como subterráneo. En la actualidad las computadoras han permitido el desarrollo de Sistemas de Apoyos a la Decisión para la Planeación y Operación de Sistemas de Recursos Hídricos, como es el caso de AQUATOOL, que incluye diversos módulos, el de simulación de la gestión de los recursos hídricos SIMGES, el módulo AQUIVAL que evalúa el funcionamiento de los acuíferos en un cuenca, basado en el método de Autovalores. Este artículo, muestra la necesidad en México de crear nuevos recursos y metodologías que nos ayuden a tomar la mejor decisión o en su defecto poder analizar de manera cuantitativa la decisión mas adecuada en cuanto a la operación del acuífero en una cuenca que hace uso conjunto del recurso superficial y subterráneo. El presente trabajo presenta la modelación del Acuífero Morelia-Queréndaro útil para la modelación de la gestión de recursos hídricos en la cuenca del río Grande de Morelia.

**Palabras clave:** Modelación matemática, Disponibilidad hídrica, Acuífero Morelia-Queréndaro

## 1 INTRODUCCIÓN

El uso del agua subterránea se ha incrementado en las últimas décadas, debido al incremento de la población que se presenta principalmente en las zonas urbanas, por lo tanto es importante realizar estudios sobre la evaluación del recurso hídrico subterráneo.

Para evaluar la disponibilidad del agua subterránea es necesario contar con herramientas que permitan evaluar la distribución espacio temporal de la recarga subterránea, así como la evolución del nivel estático y los volúmenes de salida del acuífero.

La gestión del acuífero Morelia-Queréndaro permitirá hacer una correcta y adecuada distribución del recurso hídrico, modificar las reglas de los abastecimientos subterráneos, o incluso realizar el uso conjunto del recurso superficial y subterráneo.

## 2 METODOLOGÍA

El método de los autovalores se utiliza en aquellos acuíferos conectados con un río para los que se considera necesario el uso de un modelo de parámetros distribuidos. Se ha demostrado que el método de los autovalores (Sahuquillo, 1992) es el más eficiente para sistemas que puedan ser

supuestos lineales, en los que interesa conocer las respuestas (parámetros de control) y sobre los que se ejerzan acciones que puedan ser descritas como combinaciones lineales de unas acciones unitarias predeterminadas (acciones elementales). La aplicación del método de los autovalores permite integrar en un único modelo las transferencias entre las distintas celdas en las que se discretiza el acuífero, refleja el efecto de las extracciones producidas por los bombeos, así como plantear escenarios futuros.

Para la aplicación del método se ha utilizado el programa AQUIVAL incluido como módulo preproceso en el Sistema de Apoyo a la Decisión AQUATOOL y el siguiente procedimiento (Sahuquillo 1992):.

Se define de geometría, condiciones de contorno y elaboración de una malla de diferencias finitas o elementos finitos adaptada a la forma del acuífero así como las características hidrodinámicas del acuífero (transmisividades, coeficiente de almacenamiento). Posteriormente se agregan las acciones elementales y los parámetros de control y se realiza de la simulación calibración y validación del modelo.

Dentro de las acciones elementales, es necesario determinar las entradas y salidas del sistema, dentro de las cuales la recarga vertical (por lluvia) es de las más importantes en la modelación hidrológica (apartado 2.1), la cual es necesaria para realizar la simulación de acuíferos. Por otro lado las salidas dependen del volumen concesionado, por lo tanto es necesario contar con una base de los aprovechamientos presentes en la zona (apartado 4)

## **2.1 RECARGA VERTICAL**

La recarga vertical o entradas al sistema por lluvia, determinaron espacial y temporalmente utilizando sistemas de información geográficos (ArcGIS 9.3). El volumen de recarga vertical se calculó con la precipitación media anual multiplicado por uno menos el coeficiente de escurrimiento y menos la evapotranspiración potencial.

El procedimiento realizado para la determinación de la recarga vertical se describe a continuación:

Determinación de la precipitación media anual. Con la información obtenida de las principales estaciones meteorológicas que tienen influencia en el área de estudio se procedió a determinar una serie de precipitaciones mensuales, que abarca el periodo de años 1980-2010 para cada estación.

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se puede utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 17 de abril de 2002, que señala. El volumen anual medio de escurrimiento natural en términos genéricos es igual a la precipitación media anual por el área y un coeficiente de escurrimiento, el cual a su vez depende de la precipitación media anual y el uso y tipo de suelo.

Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizó el método de Thornthwaite que se basa en la determinación de la evapotranspiración potencial mensual utilizando la temperatura media mensual y el número máximo de horas de sol según la latitud del lugar.

## **2.2 MODELACIÓN SUBTERANEA**

La metodología que empleada fue la siguiente:

Definición de geometría, condiciones de contorno y elaboración de una malla de diferencias finitas o elementos finitos adaptada a la forma del acuífero.

Definición de las características hidrodinámicas del acuífero (transmisividades, coeficiente de almacenamiento).

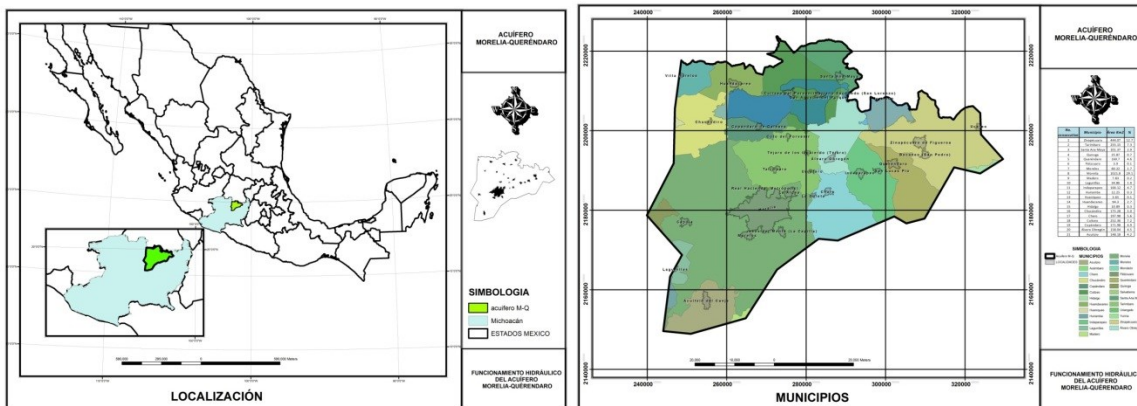
- Definición de acciones elementales.
- Definición de los parámetros de control.
- Cálculo de autovalores y autovectores.
- Definición de simulación
- Calibración y validación.

### 3 ZONA DE ESTUDIO

El acuífero Morelia-Queréndaro se ubica en la porción noreste del estado de Michoacán se encuentra localizado entre los paralelos 19°35' a 20°05' de latitud norte y los meridianos 100°45' a 101°25' de longitud oeste. Geográficamente colinda con el estado de Guanajuato al norte, con el poblado de Quiroga al occidente, Zinapécuaro al oriente y al sur con las Sierras Altas y Mil Cumbres (mapa: localización); el acuífero abarca parcialmente o totalmente 21 municipios del estado, cuenta con una superficie aproximada de 3,507 km<sup>2</sup> (ver figura 1).

De acuerdo con la información geológica, geofísica, hidrogeológica y cortes litológicos de pozos, es posible determinar la existencia de un acuífero heterogéneo y anisótropo, en general de tipo libre, con espesores de entre 300 m. y 400 m con presencia de condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de sedimentos arcillosos en la porción aladaña al lago de Cuitzeo. Las rocas presentan permeabilidades que van de medias a altas, de igual manera las transmisibilidades se encuentran en los rangos medios a altos, por lo tanto el acuífero es capaz de captar elevados volúmenes de la precipitación. (CONAGUA 2009 y CNA. 1990)

Los resultados de los aprovechamientos reportados en el censo realizado en el año 2007, en el acuífero Morelia-Queréndaro registraron 986 pozos y 23 manantiales. El uso principal del agua es agrícola, el segundo lugar lo ocupa el público urbano y en menor medida los otros usos (Ver Figura 2); para este análisis se utilizaron los pozos activos. La extracción de agua subterránea de acuerdo con la estimación del censo es de 162.2 hm<sup>3</sup>/año (CONAGUA 2009).



**Figura 1.** Ubicación del acuífero Morelia-Queréndaro (izquierda) y distribución política (derecha).

### 3.1 GEOLOGIA

La región se encuentra afectada por sistemas de fallas con dirección E-W y NE-SW que dieron origen al valle donde se aloja el sistema del acuífero. El acuífero se encuentra en provincia fisiográfica y geológica más recientemente formada de la República Mexicana: el Eje Neovolcánico, donde las fuerzas internas han actuado de manera preponderante sobre los agentes

internos, de tal forma que se ha conformado un panorama montañoso por el apilamiento de los materiales producto de la actividad volcánica intensa.

En general la zona presenta rocas ígneas extrusivas básicas y acidas del periodo cuaternario y del periodo neógeno, además de presentar una zona lacustre de tipo aluvial del periodo cuaternario (ver figura 3)

### 3.2 FISIOGRAFIA

La zona de estudio pertenece a la Provincia del Eje Neovolcánico, ésta se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos. Esta integrada por grandes sierras volcánicas, grandes coladas lávicas, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo-volcanes de basalto, depósitos de arena y cenizas. Existen amplias cuencas cerradas ocupadas por lagos (Pátzcuaro, Cuitzeo, Texcoco, El Carmen, etc.) o por depósitos de lagos antiguos (Zumpango, Chalco, Xochimilco, diversos llanos en el Bajío Guanajuatense, etc.).

El acuífero cubre parte de tres subprovincias, la Neovolcánica Tarasca, Sierras y Bajíos Michoacanos, y Mil Cumbres (ver figura 3).

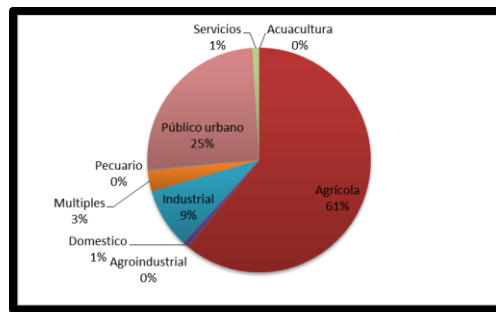


Figura 2. Diferentes usos del agua para el acuífero Morelia Queréndaro

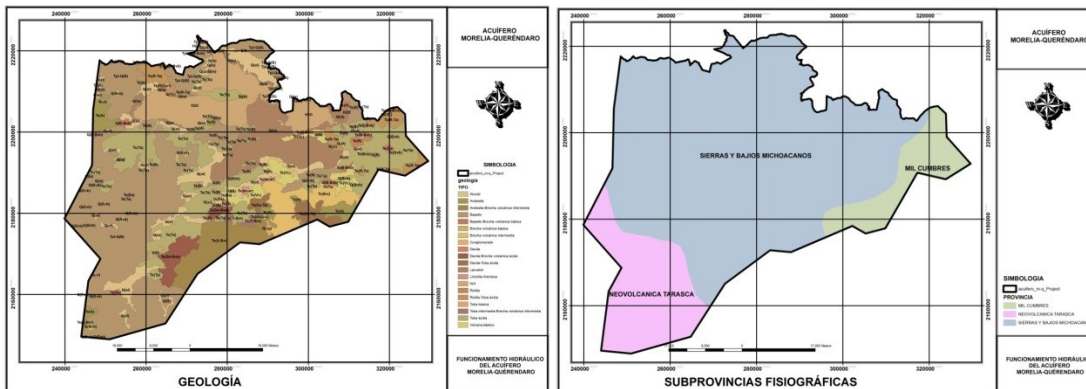


Figura 3. Geología del acuífero Morelia-Queréndaro (izquierda) y subprovincias fisiográficas (derecha).

### 3.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO.

Según datos del INEGI, (2010) la población para el acuífero en los últimos 20 años ha aumentado de manera considerable. Para el año 1990 el acuífero Morelia-Queréndaro contaba con 668,695 habitantes, incrementándose en un 13% para el año 1995, en el 2000 se incrementó un 17%. Para el año 2005 la población alcanzó un 28% y finalmente para el 2010 el porcentaje que se alcanzó fue del 40% llegando así a los 937,802 habitantes.

### 3.4 DISTRITO DE RIEGO 020 MORELIA-QUERÉNDARO.

Se divide en 5 Módulos de riego, siendo 4 los Módulos que aprovechan el acuífero, de los cuales el Módulo 3 y el Módulo 4 utilizan agua procedente del acuífero Morelia-Queréndaro (ver figura 4) para satisfacer sus demandas. Los cultivos que se analizaron para la determinación de la demanda son: avena, garbanzo, trigo, maíz, sorgo, alfalfa y cebada.

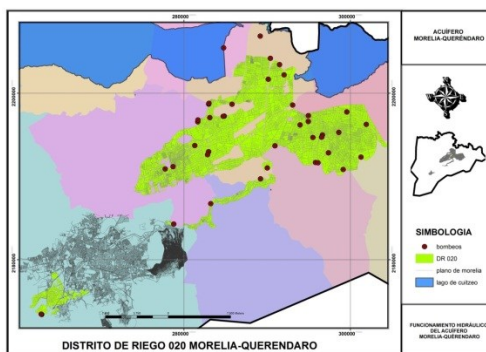


Figura 4. Ubicación del distrito de riego 020 Morelia-Queréndaro (CONGUA 2009b)

#### 3.5.1 Recarga inducida

Esta recarga está constituida por recarga por retornos de riego en la zona agrícola del Distrito de Riego 020 y por retornos por fugas de la red de abastecimiento de agua potable (mapa: distrito de riego 020 Morelia –Queréndaro).

#### 3.5.2 Retornos de riego

De acuerdo a CONAGUA (2009) del volumen utilizado en el Distrito de Riego presenta un coeficiente de infiltración de 10% con lo cual se puede obtener el volumen de retorno al acuífero.

#### 3.5.3 Entradas horizontales

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través de los piedemonte, para posteriormente recargar al acuífero.

#### 3.5.4 Salidas al lago

Estas salidas son debido a la conexión del acuífero con el lago

#### 3.5.5 Salidas por manantiales

Son las descargas por manantiales que se dan de manera natural, más sin embargo de ellas se aprovecha para algunos usos como puede ser el urbano y el agrícola principalmente.

#### 3.5.6 Salidas por evapotranspiración

En algunas zonas del área de balance los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración. Se utilizó el método de Thornwaite para la obtención en todo el acuífero.

#### 3.5.7 Bombeos urbanos de Morelia

Son los bombeos de pozos profundos que se encuentran en la zona urbana de Morelia,

#### 3.5.8 Bombeos Modulo 3

Son los bombeos procedentes del distrito 020 Morelia-Queréndaro correspondientes al Modulo 3 ubicado en los municipios de Álvaro Obregón, y parte de Zinapécuaro

### 3.5.9 Bombeos Modulo 4

Son los bombeos procedentes del distrito 020 Morelia-Queréndaro correspondientes al Modulo 4 ubicado en los municipios de Zinapécuaro y de Álvaro Obregón

#### 3.1.10 Otros Bombeos

Son los demás bombeos que se realizan en el acuífero y que consideran todos los demás bombeos que se hacen sin considerar todos los antes mencionados.

**Tabla 1.** Volúmenes de las acciones elementales utilizadas en la modelación del acuífero

Mes	Recarga Inducida (Hm <sup>3</sup> )	Recarga Horizontal (Hm <sup>3</sup> )	Recarga vertical (Hm <sup>3</sup> )	Salidas al lago (Hm <sup>3</sup> )	Salidas por manantial (Hm <sup>3</sup> )
Octubre	3.208	7.333	4.892	-0.275	-0.777
Noviembre	3.208	7.333	0.074	-0.275	-0.777
Diciembre	3.208	7.333	0.000	-0.275	-0.777
Enero	3.208	7.333	1.051	-0.275	-0.777
Febrero	3.208	7.333	0.000	-0.275	-0.777
Marzo	3.208	7.333	0.000	-0.275	-0.777
Abril	3.208	7.333	0.000	-0.275	-0.777
Mayo	3.208	7.333	0.078	-0.275	-0.777
Junio	3.208	7.333	20.345	-0.275	-0.777
Julio	3.208	7.333	45.773	-0.275	-0.777
Agosto	3.208	7.333	50.661	-0.275	-0.777
Septiembre	3.208	7.333	38.843	-0.275	-0.777
Σ=	38.500	88.000	161.717	-3.300	-9.324

**Tabla 2.** Volúmenes de las acciones elementales utilizadas en la modelación del acuífero (continuación)

Mes	Otros bombeos (Hm <sup>3</sup> )	Módulo 3 (Hm <sup>3</sup> )	Módulo 4 (Hm <sup>3</sup> )	Morelia (Hm <sup>3</sup> )
Octubre	-10.607	-0.390	-0.020	-2.500
Noviembre	-10.555	-0.376	-0.087	-2.500
Diciembre	-10.276	-0.646	-0.094	-2.500
Enero	-9.076	-1.864	-0.076	-2.500
Febrero	-9.154	-1.706	-0.156	-2.500
Marzo	-10.873	-0.083	-0.061	-2.500
Abril	-11.017	0.000	0.000	-2.500
Mayo	-11.017	0.000	0.000	-2.500
Junio	-10.863	-0.153	0.000	-2.500
Julio	-11.017	0.000	0.000	-2.500
Agosto	-10.979	-0.037	0.000	-2.500
Septiembre	-10.675	-0.294	-0.048	-2.500
Σ=	-126.109	-5.549	-0.542	-30.000

## 4 RESULTADOS

### 4.1 RECARGA VERTICAL

Primeramente se calculó la recarga vertical para un periodo de 30 años 1980-2009, en lo cual se observó que el acuífero Morelia-Queréndaro presenta una recarga en promedio anual de 161.72 hm<sup>3</sup> y un escurrimiento de 240.47 hm<sup>3</sup>. En las figuras 5, 6 y 7, se presenta el coeficiente de escurrimiento medio anual, la evapotranspiración potencial en promedio anual y la recarga promedio anual respectivamente.

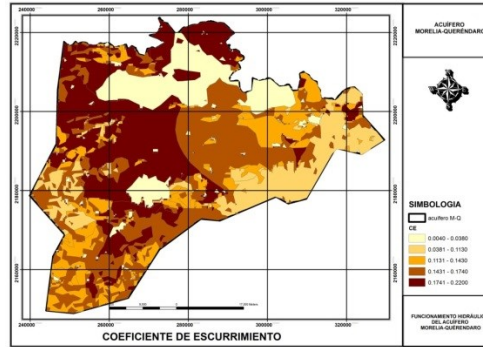


Figura 5. Coeficiente de escurrimiento perteneciente al acuífero Morelia-Queréndaro

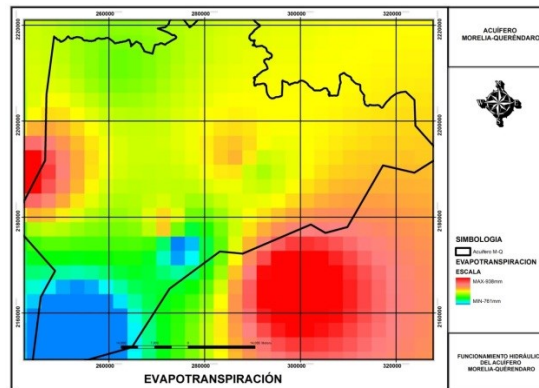


Figura 6. Evapotranspiración potencial media anual del acuífero Morelia-Queréndaro

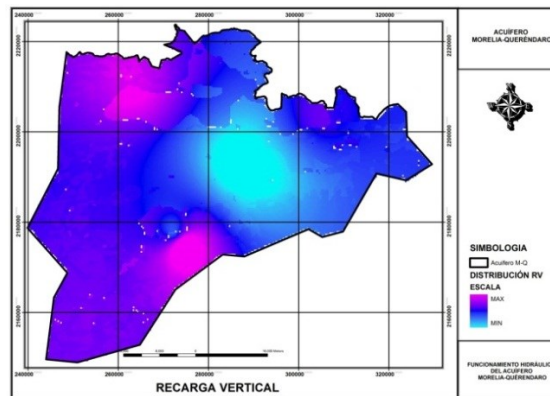


Figura 7. Recarga media anual en el del acuífero Morelia-Queréndaro



## 4.2 MODELO EN AQUIVAL

Primeramente para la discretización (ver figura 8) del acuífero se tomaron las siguientes consideraciones:

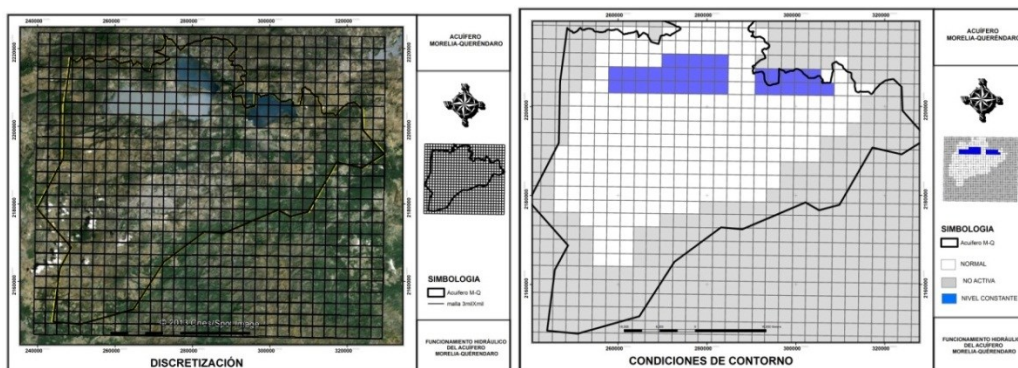
El acuífero se dividió en cuadrados con una superficie de 3000 metros de largo por 3000 metros ancho, considerando como zona de flujo horizontal 235 celdas (celdas activas en AQUIVAL) con un área total de 2115 km<sup>2</sup>.

La dirección del flujo subterráneo se realiza predominantemente en dirección del lago de Cuitzeo.

La totalidad del lago de Cuitzeo se considera de nivel constante teniendo importantes entradas de gasto de la cuenca del río Grande de Morelia, la cuenca del río Queréndaro Zinapécuaro y zonas aledañas al lago.

Se considera un nivel de referencia 0 en la celda 7-8 localizada en el lago de Cuitzeo con una elevación constante de 1795.4 msnm.

Las características hidrodinámicas iniciales del acuífero se tomaron en cuenta algunos estudios realizados con anterioridad principalmente “Estudio geohidrologico cualitativo del acuífero Morelia-Queréndaro” (CNA 1990). Se consideraron transmisividades de 2592 a 3456 m<sup>2</sup>/día, y coeficiente de almacenamiento de 0.1 a 0.13.



**Figura 8.** Discretización del acuífero en Sistemas de Información Geográfica (izquierda) y AQUIVAL (derecha).

### 4.2.1 Parametros de control

Se definieron diferentes parámetros de control que permitan la calibración del sistema subterráneo, así como para conocer la distribución espacial y temporal de los niveles estáticos, salidas del acuífero y volumen disponible. Los parámetros de control considerados se presentan a continuación:

Salidas Totales del Acuífero. Sirven para conocer todo lo que se bombea del acuífero, de manera general podemos ver como se está comportando el acuífero con respecto a lo que estamos bombeando y lo que estamos recargando a lo largo de una escala de tiempo.

Morelia. Con este parámetro de control podemos conocer los niveles piezométricos en la zona de Morelia cómo han evolucionado en el tiempo, este parámetro es indispensable para calibrar el acuífero en esta zona.

Módulo 3 y 4. En este parámetro podemos visualizar cómo se comportan los niveles piezométricos en el distrito de riego 020 Morelia-Queréndaro correspondiente a el área del módulo 3 y 4. Es importante ver la evolución de estos niveles ya que nos ayudan a calibrar e acuífero además que para un futuro podemos ver como seguirán evolucionando a lo largo del tiempo.

### 4.3 SIMULACIÓN Y CALIBRACIÓN

Para la simulación en AQUIVAL se inició con los datos promedio de transmisividades y coeficiente de almacenamientos presentados en estudios previos, posteriormente para su calibración se modificaron los coeficientes de almacenamiento y transmisibilidad para encontrar un mejor comportamiento en el acuífero y en las zonas de interés.

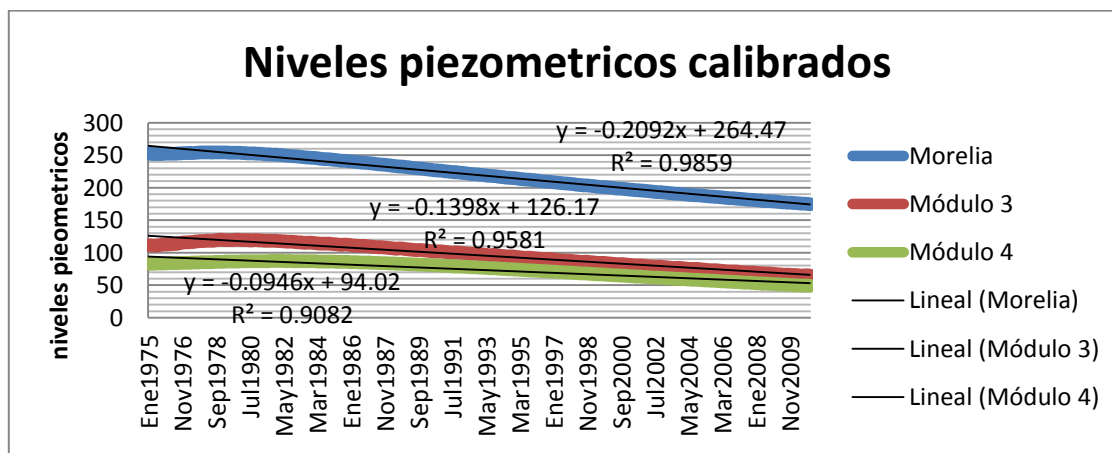
Cuando son adoptados valores de transmisividad de 3000 m<sup>2</sup>/día en las celdas de modelo (tanto en X como Y para la todo el acuífero excepto el Módulo 3 y el Módulo 4 del Distrito de Riego que se utilizaron valores de 2000 m<sup>2</sup>/día en x e y , y un coeficiente de almacenamiento promedio de 0.1 para la zona de Morelia, 0.15 para los distritos de riego y 0.13 para el resto del acuífero , se observó que el modelo del acuífero Morelia-Queréndaro en AQUIVAL evoluciona de manera similar a la piezometría registrada en la zona de estudio. Para la calibración se procuró que para los últimos años que los niveles piezometricos fueran muy similares a los que se tenían registro para las zonas de Morelia, Módulo 3 y Módulo 4 del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro.

En la zona de Morelia el abatimiento para los últimos 5 años fue de aproximadamente 2 m/año, y pendientes de descenso entre el 10 y el 21% con lo cual podemos concluir que esta zona se puede ver seriamente afectada si se incrementa el bombeo. Para el Módulo 3 del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro los resultados presentaron abatimientos cercanos a 0.9 m/año (de los últimos 5 años) con pendientes de descenso entre el 6 y el 8%. Estos abatimientos se encuentran en este rango debido que a la dirección del flujo subterráneo es en dirección a esta zona, si no fuera el caso los abatimientos serían mayores que los presentados. Los abatimientos de los últimos 5 años correspondientes al Módulo 4 del Distrito de Riego indican un descenso de 1 m/año y pendientes de descenso entre el 6 y el 8%. Los niveles en esta zona son similares a los del Módulo 3 y estos podrían aumentar en caso de la sobre explotación en otras zonas podrían cambiar la dirección del flujo subterráneo afectando de manera considerable el Distrito de Riego principalmente este Módulo.

Para el año 2010 se presentan en la tabla 3 y en la figura 9 los resultados en cuanto a los niveles piezometricos calibrados y simulados.

Calibración del acuífero Morelia Queréndaro			
Dato	Morelia	Módulo 3	Módulo 4
calibrado (m)	174.739	64.793	49.213
observado (m)	174.434	65.306	50.270
diferencia (m)	0.304	-0.513	-1.056

**Tabla 3.** Resultados de la calibración del 3 zonas importantes del acuífero.



**Figura 9.** Ubicación del acuífero Morelia-Queréndaro (izquierda) y distribución política (derecha).

## 5 CONCLUSIONES

El conocer la evolución del nivel estático es de suma importancia en la actualidad, ya que resta incertidumbre en el conocimiento del funcionamiento del acuífero, la modelación subterránea permite conocer esta variable la cual con el tiempo ha estado disminuyendo, tal y como se observa en la figura 9. El acuífero Morelia Queréndaro se encuentra en zona de veda y debido a que los bombeos son mayores que las recargas, más sin embargo la creciente población ocasiona presión sobre el recurso y la disponibilidad disminuye, con lo cual para un futuro cercano los niveles estáticos podrían seguir disminuyendo.

A partir del modelo creado se pueden elaborar escenarios futuros de diferentes tipos de distribución de agua o en las recargas y generar condiciones que permitan que el nivel estático del acuífero no disminuya.

## REFERENCIAS

- Andreu, J. Solera, A. Paredes, J. 2007. *AQUATOOLDMA Entorno de desarrollo de sistemas de ayuda a la decisión en materia de planificación de la gestión de cuencas hidrográficas incluyendo utilización conjunta y criterios de calidad de aguas*. Manual de usuario Versión 1.00. UPV, Valencia (España), pp. 1-98.
- CNA 1990. *Estudio geohidrológico cuantitativo del acuífero Morelia-Queréndaro*, Comisión Nacional del Agua. Michoacan. México, pp 12-50.
- CONAGUA 2007. *Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento, datos básicos*. México D.F (México), Diciembre del 2007, pp. 14 – 35.
- CONAGUA 2009. *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Morelia-Queréndaro*. Subdirección de gerencia técnica, Gerencia de aguas subterráneas. México D.F. (México), Diciembre, pp. 15 - 27.
- CONAGUA 2009b. *Desarrollo de un modelo de sistema de información geográfica y revisar e identificar las parcelas que requieren actualización en el padrón de usuarios del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro*. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola Gerencia de Distritos de Riego. Michoacán (México), Octubre 2009, pp 25 - 35.
- NOM-011 CNA-2000. *Norma Oficial Mexicana sobre la conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*. Diario Oficial de la Federación. SEMARNAT 2000 México., pp 5-17
- SARH 1977. *Estudio geohidrológico preliminar de la zona de Morelia-Queréndaro*, Michoacán. México Secretaria de Recursos hidráulicos 1997 pp 12-35.
- Sahuquillo A 1992. *Nuevo método para resolver modelos matemáticos de acuíferos en forma continua en el tiempo*, el procedimiento de los autovalores, servicio geológico de obras públicas Universidad Politécnica de Valencia. Madrid España, 5-12
- UPV 1997. *Módulo para el preproceso y modelación de acuíferos departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente*. Valencia (España), pp. 1 - 43.

## MESA IV

### PROCESOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y EDUCATIVOS EN EL CONTEXTO DE CUENCAS COMPLETAS



# CENTRO REGIONAL DE CAPACITACIÓN EN CUENCAS LA JOYA, QUERÉTARO. UN MODELO PEDAGÓGICO MULTIDISCIPLINARIO

José Antonio CARVAJAL GALVÁN<sup>a</sup>, María del Carmen GILIO MEDINA<sup>b</sup>

Universidad Autónoma de Querétaro, [antonio.carvajalg@gmail.com](mailto:antonio.carvajalg@gmail.com)<sup>a</sup>

Universidad Autónoma de Querétaro, [mcgiliom@yahoo.com](mailto:mcgiliom@yahoo.com)<sup>b</sup>

## RESUMEN

El Centro Regional de Capacitación en Cuencas, ubicado en los límites de Querétaro y Guanajuato y coordinado por diversas instituciones, entre ellas la Universidad Autónoma de Querétaro, es un proyecto que promueve ofertas de educación y capacitación respecto del manejo y gestión de cuencas hidrográficas a grupos diversos (escolares, funcionarios públicos, campesinos, ganaderos entre otros) a través de una visión multipropósito (educación, capacitación, investigación y vinculación) y multinivel (Formal-informal, campesino-campesino, preescolar-posgrado, urbano-rural). Para dichas actividades el proyecto de creación del centro reconoce la importancia de desarrollar un modelo pedagógico que sustente de manera teórico-conceptual las acciones educativas y de capacitación que se ofertan. Se parte del reconocimiento que son pocas las experiencias de un modelo pedagógico que tenga como horizonte la educación y capacitación con enfoque de cuenca. El presente trabajo versa sobre la creación de dicho modelo pedagógico, es decir, la discusión teórica y conceptual primero, acerca de la forma de conceptualizar la cuenca y sus componentes, acorde a las actividades presentes y futuras que se realizan; segundo, las principales propuestas educativas que se adecuan al espacio ocupado por el centro (espacio no formal), los objetivos del centro, los grupos de interés y las técnicas pedagógicas que sustentan y complementan las actividades que ya se llevan a cabo en el mismo. Es un modelo que reconoce la importancia de la propuesta interdisciplinaria de abordaje de la realidad y del planteamiento de proyectos. Es, además, un modelo holista e integrador pues, el enfoque de cuenca exige abordajes de esta naturaleza.

**Palabras clave:** Modelo pedagógico, cuenca, interdisciplina, aprendizaje dialógico, aprendizaje servicio, educación no formal, comunidad de aprendizaje.

## 1 INTRODUCCIÓN

El Centro Regional de Capacitación en Cuencas es un proyecto encabezado por la Universidad Autónoma de Querétaro, a través de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, en coordinación con otras instituciones de financiamiento y gubernamentales. Dicho centro se encuentra en la microcuenca La Joya que se ubica en los límites de los estados de Querétaro y Guanajuato. Algunas de las principales características de la capacitación que se oferta es su visión multipropósito (educación, capacitación, educación y vinculación) y multinivel (formal-informal, campesino-campesino, preescolar-posgrado, urbano-rural). La educación y capacitación se concreta en el espacio comunitario siendo una pedagogía experiencial, no remitida a espacios institucionales formales, por lo cual es catalogada como educación no formal. Por esta razón las propuestas conceptuales están basadas en aquellos planteamientos teóricos que privilegien este tipo de abordajes pedagógicos, es decir, educación comunitaria, espacios no formales, educación entre pares, educación para el servicio a la comunidad entre otros.

Es importante reconocer que son escasas las experiencias de un modelo pedagógico (teórico-conceptual) adaptado al enfoque de cuenca y que guíe acciones de educación y capacitación bajo este enfoque y para la educación ambiental. Encontramos que los planes o proyectos de educación ambiental son, en mayor medida, una enunciación de actividades lúdicas y didácticas. Sin embargo, estos planes adolecen de un sustento teórico y conceptual que posibilite el análisis de los procesos ahí llevados a cabo para poder analizar la efectividad y pertinencia de los mismos. Ante este escenario, la construcción de un modelo pedagógico con enfoque de cuenca, que contenga sólidas bases en teoría pedagógica, resulta de vital importancia para un centro que se proyecta al futuro y que pretende ser un modelo replicable para otras zonas y escenarios donde se trabaje bajo la perspectiva de cuenca.

Este modelo pedagógico ha sido desarrollado específicamente para adaptarse a los postulados y especificidades del enfoque de cuenca. Entre algunos de estos encontramos la propuesta de abordaje de la realidad a través del método interdisciplinario, antes que la parcelización por áreas disciplinares. La conjunción de estos problemas y fenómenos de la realidad es posible bajo el enfoque de cuenca, pues al tomar a esta como espacio de acción y de análisis, los diversos procesos pueden ser observados y trabajados como parte de un conjunto. Este modelo pedagógico planteado proporciona sustento teórico-conceptual a las actividades de educación y capacitación que se imparten en el centro. Ha sido adaptado para tomar en cuenta todas las particularidades del contexto biofísico, social, económico y cultural de los participantes del proyecto, principalmente de los habitantes, que son los ofertantes de la capacitación en su mayoría.

## **2. BASES TEORICAS DEL MODELO PEDAGÓGICO**

Para el desarrollo del modelo pedagógico que guía las acciones del centro se llevó a cabo una minuciosa labor de gabinete para elegir aquellas teorías y propuestas educativas y pedagógicas que de manera adecuada sustentaran las actividades desarrolladas por los participantes del centro. Se partió de reconocer que este espacio educativo se enmarca dentro del concepto de la educación *no formal*, es decir aquella que se lleva a cabo en espacios no escolarizados, a diferencia de la educación *formal* y de la *informal*. Por lo tanto, se consideró necesario el análisis de las teorías educativas y pedagógicas que se adaptaran de manera adecuada a este tipo de educación no escolarizada, además de aquellas tendientes a la promoción del servicio solidario y del trabajo colaborativo, que son valores y propuestas contenidas dentro del mismo Centro Regional de Capacitación en Cuencas y a la propuesta de comunidad de aprendizaje. De igual manera, consideramos adecuado hacer un análisis acerca de las diversas conceptualizaciones del enfoque de cuenca para proponer aquel esquema que, de manera adecuada, se ajusta a los planteamientos y objetivos del centro.

### **2.1 EL CONCEPTO DE CUENCA**

La cuenca (Dourojeanni y Jouravlev, 2002; Pineda, Gilio, Domínguez, Hernández, González y García, 2003; Cotler y Pineda, 2008) es un territorio natural delimitado por factores biofísicos como los caudales de agua y el relieve. Es un espacio donde el agua fluye y desahoga hacia un punto común. Considerándolo como un espacio físico, por obvias razones, se deduce que dentro de este mismo confluyen e interactúan fenómenos y procesos que complejizan su abordaje desde la visión disciplinar. En el espacio delimitado por la cuenca interactúan e interdependen procesos de carácter biofísico, económico, social, cultural, simbólico, entre otros. De esta manera, la cuenca es un concepto complejo que requiere de abordajes interdisciplinarios para su análisis.

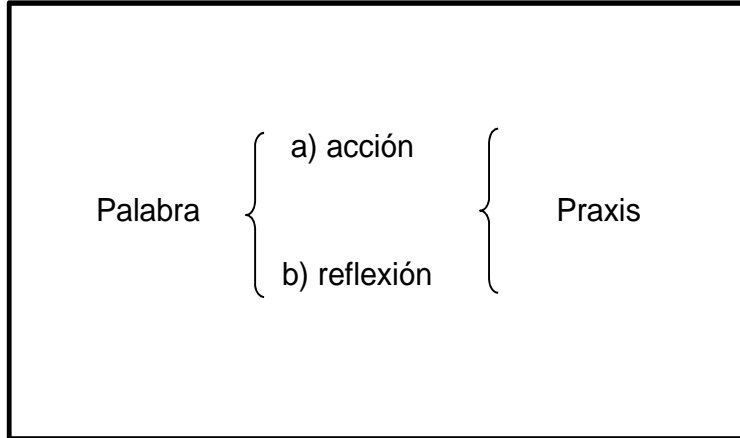
Aunque podemos encontrar en la literatura definiciones tendientes a la conceptualización hidrológica o biofísica, consideramos que la cuenca es un espacio complejo donde cohabitan agua, recursos naturales, flora y fauna además de grupos humanos. La presencia de estos factores crea un entramado de relaciones complejas que resulta difícil abordar desde la fragmentación disciplinar. Es, por otro lado, a partir del enfoque de cuenca como podemos desentrañar el cumulo de relaciones y poder plantear análisis certeros y, de igual manera, planes concretos de manejo y gestión de cuencas. Por esta razón, consideramos que la cuenca es una entidad a tres niveles: hidrológica, biofísica y socioeconómica. Estas grandes esferas configuran relaciones complejas entre los habitantes de las cuencas (humanos y no humanos) y los recursos naturales y el agua presente en la misma.

Estas relaciones interdependientes no pueden ser analizadas de manera fragmentaria *so pena* de descontextualizar un fenómeno o proceso particular de la macroestructura general en que está inmerso. La cuenca es –para nosotros– la unidad territorial adecuada para analizar estas relaciones y de igual manera para desarrollar proyectos de manejo y gestión de los recursos naturales y del agua y de la intrínseca dependencia de los humanos con las primeras. El reconocimiento de que la relación entre las actividades antropogénicas y el medio que las rodea es esencialmente conflictiva y de que las primeras se remiten a hábitos y costumbres socialmente construidas, permite sostener que a través de actividades de educación y capacitación dichas acciones humanas conflictivas con el medio, pueden ser modificadas por otras que, de realizarse adecuadamente, abonan a un manejo y gestión sostenible de los recursos y del territorio.

## **2.2 EL APRENDIZAJE DIALÓGICO.**

En relación a la pregunta ¿cómo se concibe el proceso educativo en el centro? Se propone considerar al *aprendizaje dialógico* (Freire, 1970, 1997) como eje rector de las actividades pedagógicas y de capacitación del centro. Este concepto se caracteriza por concebir a la educación y al aprendizaje como una construcción social que realizan los colectivos mediados por el contexto histórico, social y cultural en que están inmersos. Este mismo posibilita visualizar a la educación como un proceso permanente que no solo puede ni debe ser desarrollado en los espacios tradicionales (aulas, centros educativos, institutos, universidades, centros de investigación), sino de igual manera en espacios públicos, sociales y comunitarios. A partir de estas conceptualizaciones la relación tradicional educador-educando, donde el docente desempeñaba un rol activo al *depositar* el conocimiento y el alumno era un agente pasivo en el cual *depositar* los conocimientos y contenidos que el profesor considerara pertinentes para su formación, se transforma de manera dinámica pues reconoce la capacidad de todos los individuos para ser educadores y educandos a su vez (ver figura 1).





**Figura 1** Componentes de la palabra en el aprendizaje dialógico (En Freire, 1970)

El aprendizaje dialógico posibilita procesos de educación, capacitación y comunicación horizontales, democráticas y participativas por parte de los participantes de un proyecto pedagógico. El reconocimiento de que todos los individuos pueden aprender y enseñar cobra relevancia en el centro pues, son los habitantes de la microcuenca, los que en mayor medida serán encargados de los procesos educativos y de capacitación (relación campesino-campesino), de igual manera, este tipo de abordaje permite concretar espacios de aprendizaje alejados de las aulas, el espacio social, el territorio comunitario es también terreno propicio para la acción educativa. En este sentido, el centro reconoce que la educación y el aprendizaje son procesos permanentes que no se agotan dentro de los límites institucionales de los centros formales. Por esta razón, el aprendizaje dialógico ofrece un soporte conceptual a un centro que no tiene un espacio-estructura concreto, antes bien, es la microcuenca en su conjunto y los procesos que en esta se gestan, el espacio donde las opciones de educación y capacitación tomaran forma.

Finalmente, el aprendizaje dialógico se adapta de manera adecuada a la educación no formal, pues reconoce la capacidad de los individuos de aprender y enseñar en todas las etapas de su vida, además, valora la importancia de rescatar las experiencias personales y colectivas de los participantes y las formas particulares en que se vinculan con su espacio. El centro es un espacio donde los visitantes pueden escuchar y compartir sus formas de relacionarse con el medio y conocer otras distintas para encontrar soluciones compartidas a las problemáticas ambientales y ecológicas analizadas en el enfoque particular de la cuenca. La comunicación entre pares se vuelve un componente importante de la propuesta pedagógica, una comunicación entendida como un proceso donde a través de la praxis, acción y reflexión posibiliten situaciones de enseñanza-aprendizaje.

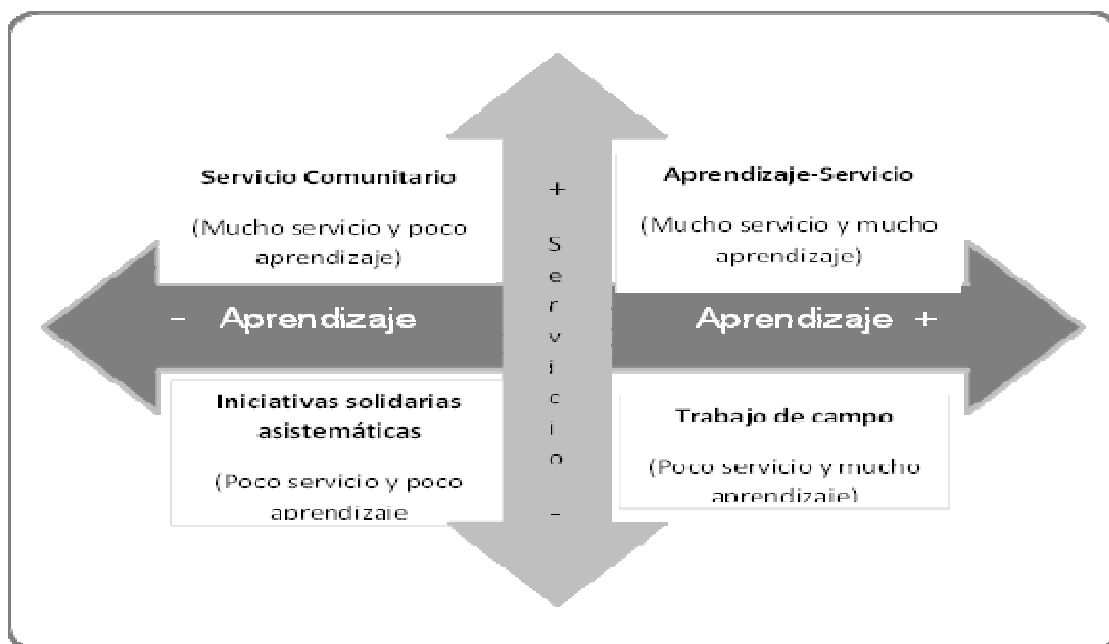
### **2.3 EL APRENDIZAJE-SERVICIO**

Siendo pues, la microcuenca, un territorio delimitado por factores biofísicos (escorrentías y relieve) donde se entremezclan e interactúan procesos de índoles diversas, se debe considerar que los proyectos de educación y capacitación tienen como escenario predilecto al medio natural, a la comunidad, al espacio social no encuadrado por una estructura cerrada. Ante esta peculiaridad, se propone, como otro de los pilares del

presente modelo pedagógico al concepto de Aprendizaje-Servicio (García, 2001; Martínez, 2008; Tapia, 2008). Esta categoría tiene como premisa principal la vinculación efectiva y benéfica entre el aprendizaje de contenidos curriculares y académicos con la prestación de un servicio a la comunidad (ver figura 2). Esta propuesta sostiene la posibilidad de desarrollar proyectos educativos donde, a manera de reforzamiento de los contenidos curriculares enunciados en los espacios institucionales, se puedan llevar a cabo prácticas de campo que se plantean de manera tal que, son al final, una manera de coadyuvar a la solución de problemáticas concretas expresadas por la comunidad donde se inserta el centro educativo.

Al ser los grupos escolares uno de los grupos objetivo que vislumbra el centro para ser partícipe de las actividades, el concepto del aprendizaje-servicio supone un fuerte y firme sostén del modelo pedagógico que permite el acercamiento a estos grupos de visitantes ofreciendo programas de educación contextualizados al grado y nivel de escolaridad para permitir reforzar los contenidos aprendidos en cada uno de ellos, pero a su vez posibilitando la puesta en marcha de actividades y acciones de desarrollo comunitario. Esta es, ante todo, una metodología de trabajo participativo donde se vincula a los participantes con la realidad concreta.

Es así que los planes de manejo de cuenca pueden adaptarse para ser a su vez proyectos educativos para el reforzamiento y aprendizaje de contenidos académicos, científicos y curriculares de los grupos que visitan el centro, sea para capacitarse, sea para conocer el centro o sea para su vinculación con un proyecto de educación ambiental con enfoque de cuenca y que, al final, sean también proyectos en beneficio de la comunidad, de sus problemáticas y peculiaridades. El esfuerzo es por seguir acercando el conocimiento, la ciencia y la tecnología a la sociedad y la apuesta al trabajo conjunto y coordinado que coadyuve al mejoramiento de las condiciones sociales existentes.



**Figura 2.** Cuadrantes que diferencian al aprendizaje-servicio de otras actividades solidarias Adaptado de Puig, Batlle, Bosch, y Palos (2007) y Tapia (2008)

## 2.4 EL APRENDIZAJE COOPERATIVO

El tercer pilar de este modelo pedagógico es el concepto de *aprendizaje cooperativo* (Serrano, 1996; Lobato, 1997; Johnson, Johnson y Holubec, 1999) este concepto remite a la propuesta de modificación de esquemas de trabajo basados en las metodologías tradicionales de educación y aprendizaje basadas en el individualismo (donde el alumno consigue metas sin necesidad de interactuar con los demás integrantes del grupo) y en la competitividad (donde el educando consigue alcanzar logros a condición de que los integrantes restantes fracasen en la consecución de los suyos). Se propone un nuevo esquema de aprendizaje colaborativo en grupos pequeños y heterogéneos que posibiliten el diálogo, la comunicación entre pares y la solidaridad, valores todos ellos que se encuentran intrínsecamente relacionados con las actividades del centro. La diversidad de los grupos asistentes (niños, jóvenes, adultos) así como las finalidades que estos persiguen hacen necesario el análisis acerca de las bondades del trabajo solidario en equipo.

Este esquema basado en la cooperación y el trabajo conjunto de grupos de trabajo mantiene consonancia con las actividades que el centro realiza y que el enfoque de cuenca exige como modelo de participación. Las propuestas de manejo y gestión de cuencas no pueden llevarse a cabo sin una sólida organización comunitaria y un plan de trabajo basado en la cooperación de todos los grupos implicados e interesados en la gestión de recursos naturales bajo el enfoque de cuenca. El aprendizaje cooperativo sienta las bases de un modelo de educación y capacitación basado en la colaboración y la solidaridad antes que el trabajo individual o competitivo que otros modelos pedagógicos promueven.

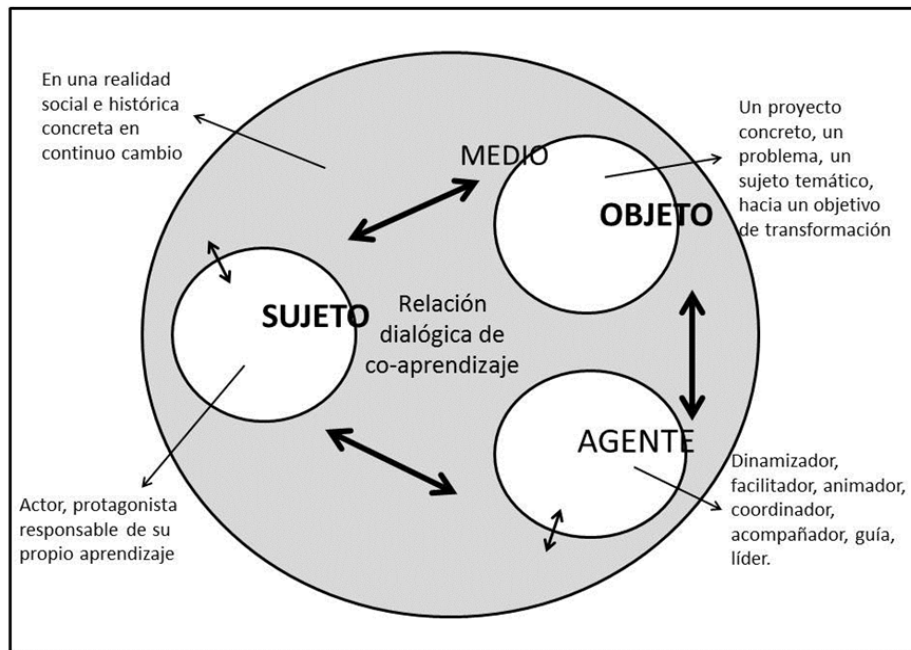
Con el aprendizaje cooperativo se pueden desarrollar acciones de manejo y gestión de cuencas con la contribución de grupos sociales que trabajen de manera coordinada para la consecución de objetivos comunes previamente planteados. Gran parte de las actividades de educación y capacitación que oferta el Centro Regional de Capacitación en Cuencas están concebidas para ser desarrolladas en grupos pequeños, por lo tanto, resulta imprescindible darle un marco conceptual y un sustento teórico a estas actividades grupales. Esto hace posible el planteamiento de esquemas de trabajo en manejo y gestión de cuencas, pues es ampliamente reconocido que estos solo pueden concretarse con la colaboración y participación de todos los grupos sociales e institucionales que tengan presencia e injerencia en el espacio que ocupa una cuenca específica o un grupo de ellas que decidan trabajar en conjunto. El centro sin duda propone y valora la creación de proyectos de trabajo que tengan como sistema de trabajo a la cooperación, la solidaridad, el diálogo y la toma de decisiones consensuadas como una metodología adecuada y acorde al enfoque de cuenca.

## 2.5 COMUNIDADES DE APRENDIZAJE

Haciendo síntesis de los planteamientos anteriormente mencionados establecemos que el soporte del modelo pedagógico del Centro Regional de Capacitación en Cuencas es la comunidad de aprendizaje. Entendemos la comunidad de aprendizaje como una **Estrategia Pedagógica Marco** (ver figura 3) que desde una visión socioconstructivista y crítica integra un conjunto de enfoques y estrategias pedagógicas específicas y complementarias, que tienden a favorecer el co-aprendizaje y cuya implementación se apoya en un grupo de personas que se asocian a un objetivo común de aprendizaje, en una dinámica de diálogo, para aprender y resolver juntos un problema que los preocupa o para construir un proyecto común. (Orellana 2005).

En ese sentido, el modelo pedagógico del CRCC pretende dar respuesta a uno de los desafíos actuales más difíciles y complejos, como lo es repensar y reconstruir los vínculos que el ser humano desarrolla mediante la

sociedad, con el medio ambiente y con el medio de vida, por tanto la importancia de explotar el potencial educativo de diversos grupos tanto académicos, gubernamentales, de la sociedad civil, y de la comunidad rural que trabajan en un proyecto común que tiene objetivos específicos, una duración determinada y un lugar de realización. La comunidad de aprendizaje en educación ambiental posibilita la construcción de nuevas relaciones entre el ser humano y el medio de vida, tendientes a tres premisas básicas: *saber-ser*, *saber-hacer* y *saber-vivir-juntos* (Orellana, 2005) para concretar acciones humanas que impacten de manera positiva en el medio natural y se conjuguen en una relación armónica con este.



**Figura 3.** La situación pedagógica en un contexto de comunidad de aprendizaje (Orellana, 2001a, en Orellana 2005)

La vinculación entre los procesos educativos y el medio en que se llevan a cabo son esenciales para los objetivos del centro en tanto el espacio ocupado por este no es uno de carácter institucional, remitido a un edificio o aulas, sino que su espacio de acción es el espacio natural. A partir de las propuestas mencionadas se pueden desarrollar acciones que intervengan en el espacio natural (ambiental, social, cultural) a través de la promoción de actividades educativas. La relación ambiente-sociedad puede abordarse desde la relación educación-medio de vida para concretar aportes fructíferos para ambos vectores. La comunidad de aprendizaje puede servir de vínculo para el conocimiento del medio de vida y de las problemáticas que en este se gestan por la conflictividad de la relación entre el hombre, sus actividades y el medio que le rodea. Esta opción puede ser abordada para su aplicación en una comunidad concreta que participa de un proyecto educativo de largo alcance, ejemplo de esto es el Centro Regional de Capacitación en Cuencas y los habitantes de la microcuenca que participan de las actividades de educación y capacitación.

### 3. CONCLUSIONES

Siendo el Centro Regional de Capacitación en Cuencas un proyecto de alcance regional y de larga data, el modelo pedagógico desarrollado es, sin duda, imprescindible para guiar las actividades en el mismo. Su construcción y planteamiento desde el nivel teórico-conceptual obedece a las escasas experiencias de modelos pedagógicos adaptados o concebidos para vincularse con el enfoque de cuenca y las peculiaridades que este supone. En el proceso de creación del modelo se tomó en consideración las directrices generales del mismo centro para que fuera en consonancia con los objetivos generales y particulares de este. Una característica esencial es que se desarrolla en un ambiente semiárido pues es representativo de una parte importante del territorio mexicano con miras a que se convierta en un ejemplo modelo de manejo y gestión de cuencas en este tipo de territorios.

Por esta razón, este modelo ha sido contextualizado a las condiciones biofísicas, sociales, económicas, culturales y organizacionales de la microcuenca en que se encuentra el centro. Es incluyente en cuanto se conjuntaron diversas opiniones tanto de los participantes institucionales, académicos y organizativos, pero sobre todo de los habitantes del lugar, pues como se ha mencionado anteriormente, son estos un eje central de la construcción y puesta en marcha del centro. El modelo pedagógico general permite adecuaciones concretas para su adaptación a grupos y fines específicos. La diversidad de los grupos visitantes exige que los esquemas de educación y capacitación sean adaptables a cada uno, pero a su vez, que los preceptos generales del enfoque de cuenca sean el marco que guíe las acciones pedagógicas y formativas.

Ante estas condiciones, se privilegiaron los preceptos cercanos a la educación no formal, pues el centro no es exclusivamente un proyecto educativo, ni está inmerso en una institución escolarizada. La interacción entre las distintas propuestas teóricas y conceptuales da sostén al multivariado abanico de actividades que el centro ofrece a los grupos visitantes, así como también pone énfasis en la diversidad de dichos grupos. Este modelo posibilitará en un futuro el análisis de las actividades pedagógicas y posterior evaluación de la oferta educativa y de capacitación con miras a un constante proceso de mejora continua. La vinculación entre procesos educativos y propuestas de desarrollo comunitario es indispensable dentro del esquema del enfoque de cuenca, pues las acciones de manejo y gestión de esta, requieren de la participación de pobladores, instituciones gubernamentales, organizaciones civiles y académicas. Por esta razón, la propuesta considera de suma importancia la educación basada en las relaciones grupales y entre pares, además de una educación y capacitación en la acción pues se privilegia el análisis de la experiencia previa de los visitantes y la formación de personas a través de acciones lúdicas en el sitio.

El modelo pedagógico siempre tuvo en su horizonte un aspecto que consideramos fundamental para el enfoque de cuenca, a saber, la propuesta interdisciplinaria de abordaje de la realidad. Este modelo fue concebido para promover la participación de una amplia gama de disciplinas científicas, pero reconociendo que el concurso de éstas no puede llevarse a cabo de manera aislada, sino antes bien, a través de la conformación de grupos interdisciplinarios de trabajo. La propuesta pedagógica aquí enunciada promueve la interacción y trabajo continuo de todas las disciplinas científicas interesadas en el medio ambiente, el manejo y gestión de recursos naturales y de la estrecha y conflictiva relación que estos últimos mantienen con los grupos humanos.

## REFERENCIAS

- Dourojeanni, A. y Jouravlev, A. (2002) Gestión de recursos a nivel cuencas. Foro Agua para las Américas en el Siglo XXI. México.
- Pineda, R., Gilio, M.C., Domínguez, M., Hernández, L., González, C.I. y García, A. (2003) Interdisciplina y manejo de cuencas: una propuesta para la formación de recursos humanos a nivel maestría. Memorias II Congreso Latinoamericano en Manejo de Cuencas Hidrográficas. Arequipa, Perú: INRENA-FAO.
- Cotler, H y Pineda, R. (2008) Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos? En boletín del archivo histórico del agua. Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT. Año 13. Número 39
- Freire, P. (1970) Pedagogía del oprimido. Siglo Veintiuno Editores. Quinta reimpresión, nuevo formato, 2011
- Freire, P. (1997) Pedagogía de la Autonomía. Saberes necesarios para la práctica educativa. Siglo Veintiuno Editores. Undécima reimpresión, 2009.
- García, S. (2001) Fundamentos conceptuales del aprendizaje-servicio. Panorama internacional y nacional. En Escuela y Comunidad: La propuesta pedagógica del aprendizaje-servicio. Actas del 3er y 4to Seminario Internacional "Escuela y Comunidad" A. S. González y P. J. Elicegui (comp.) Buenos Aires, Argentina: Programa Nacional Escuela y Comunidad.
- Martínez, M. (2008) Aprendizaje servicio y construcción de ciudadanía activa en la universidad: la dimensión social y cívica de los aprendizajes académicos. En Aprendizaje servicio y Responsabilidad Social de las Universidades. Martínez, M. (Ed) Editorial Octaedro
- Tapia, M (2008) Aprendizaje y Servicio solidario en la misión de la Educación Superior. En A. González y R. Montes (comp.) El Aprendizaje Servicio en la educación superior. Una mirada analítica desde los protagonistas. (pp. 11-30) Buenos Aires, Argentina: EUDEBA.
- Puig, J. Batlle, R. Bosch, C. Palos, J. (2007) Aprendizaje servicio. Educar para la ciudadanía. Editorial Octaedro. Versión Digital.
- Serrano, J.M. (1996) El Aprendizaje cooperativo. En J.L. Beltrán y C. Genovard (edit.) Psicología de la instrucción I. Variables y procesos básicos. Madrid: Editorial Síntesis. 217-244
- Lobato, C. (1997) Hacia una comprensión del aprendizaje cooperativo. Revista de Psicodidáctica. Núm. 4. Universidad del País Vasco.
- Johnson, D., Johnson, R. y Holubec, E. (1999a) El aprendizaje cooperativo en el aula. Buenos Aires, Argentina: Paidós.
- Orellana, I. (2005) La estrategia pedagógica de la comunidad de aprendizaje: defendiendo sus fundamentos y prácticas y su pertinencia en educación ambiental. *Carpeta informativa del CENEAM*. 2. 204-214.



# DISEÑO DE MATERIAL DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA DE BUENAS PRÁCTICAS EN EL MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS: UNA PROPUESTA CON BASE EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN

Salomón AGUILAR HERNÁNDEZ<sup>a</sup>, María del Carmen GILIO MEDINA<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Querétaro, Anillo Vial Fray Junípero Serra S/N Querétaro, Qro.  
email: salomon.a.h@gmail.com, mcgiliom@yahoo.com

## RESUMEN

El Centro Regional de Capacitación en Cuencas (CRCC) ubicado en la comunidad de La Joya, en los límites del Estado de Querétaro con Guanajuato, tiene como premisa el promover una cultura de conservación y buen manejo de los recursos naturales, tomando como concepto rector el manejo y gestión integrada de cuencas.

Uno de sus objetivos específicos es ofrecer servicios de capacitación y educación de preescolar a posgrado y de jóvenes a adultos en comunidades rurales y urbanas de México, tomando como base los procesos de una cuenca, poniendo especial atención a la conservación de sus componentes, estructura y funcionalidad.

Este proyecto establece una propuesta para desarrollar materiales educativos a través de una plataforma virtual basada en Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). El primer alcance es, insertar de manera didáctica en la interfase, video, presentaciones y texto sobre el manejo integrado de cuencas, como herramienta para lograr el objetivo de capacitación del CRCC y evaluar su funcionamiento. El segundo alcance es que con el tiempo, esta plataforma sirva de manera permanente como referencia para proponer, debatir y promover el conocimiento generado en el tema de cuencas, de manera local, nacional o internacional, teniendo como concentrador al CRCC.

La importancia de este proyecto es promover la actualización de la información relacionada con la cuenca, mediante una plataforma asequible para fomentar la publicación del conocimiento generado sobre el tema, aprovechando los avances en educación y los de la ciencia, tecnología y desarrollo, ya que las TIC, promueven una nueva perspectiva para lograr una educación global, con inversiones bajas y resultados satisfactorios además de promover una educación independiente, comprometida y responsable.

**Palabras clave:** Cuenca, educación, TIC's, sustentabilidad, material didáctico.

## 1 INTRODUCCIÓN

La pérdida de suelos, agua y vegetación como elementos esenciales de la estructura y condicionantes de la función de una cuenca es muy acelerada en nuestro país, y para su solución se requiere, no sólo de políticas de conservación y uso adecuado, sino de promover acciones locales que permitan el desarrollo de una conciencia y la obtención de beneficios sobre el buen uso y conservación de los recursos naturales Pineda, R. (2010)

Durante una reunión con la Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA) en el Congreso Nacional de Cuencas en el año 2007, varias conclusiones señalaron la necesidad de contar con centros demostrativos y de capacitación en técnicas para el manejo de los componentes y la funcionalidad de una cuenca, donde los capacitadores pudieran demostrar en la práctica las técnicas disponibles para su manejo.



El Centro Regional de Capacitación en Cuencas (CRCC) surge de la necesidad de contar con una institución que concentre información sobre el manejo y la gestión de cuencas para atender a una gran variedad de público, mientras rescata la experiencia de los habitantes para construir y difundir las buenas prácticas en la conservación y manejo de los recursos naturales, bajo el concepto rector del manejo y gestión integrada de cuencas.

Con una visión multipropósito a partir de cuatro ejes: Educación, Capacitación, Investigación y Vinculación; y con una plataforma multinivel (formal-informal, campesino-campesino, preescolar-posgrado, urbano-rural); el CRCC plantea el cuidado y conservación del agua y otros recursos naturales, con un enfoque de planeación-acción basado en territorios definidos de manera natural como las cuencas, donde los esfuerzos de sus habitantes para el manejo y conservación sean fáciles de observar y medir para promover su autogestión en el largo plazo.

Para su constitución se establecieron cinco etapas: 1. Construcción de la participación y gestión; 2. Análisis y desarrollo de la microcuenca; 3. Desarrollo de buenas prácticas e infraestructura asociada; 4. Definición y operación de la oferta educativa multinivel; 5. Evaluación continua y monitoreo del proyecto.

Dentro de la etapa cuatro, en la actividad dos “Desarrollo de materiales educativos ad hoc para la capacitación multinivel”, se inserta esta propuesta, pues contempla: “Elaboración de materiales educativos de los procesos de una cuenca, el agua como componente esencial y su relación con el suelo y la biodiversidad, teniendo especial atención en conservar los componentes de la estructura de una cuenca y su funcionalidad.” Pineda, R. (2010)

Es en la comunidad de La Joya, Querétaro, donde el proyecto del CRCC ha sido factible debido a la sensibilización de los actores que participan en su desarrollo, en especial sus habitantes, la Universidad Autónoma de Querétaro, las autoridades municipales, estatales y federales.

De acuerdo al coordinador del proyecto, el Dr. Raúl Pineda López, esta microcuenca es el espacio territorial ideal para considerarla una microcuenca “piloto” debido a las intenciones de su población de mejorar sus condiciones naturales, bióticas y sociales, entre las que se encuentran: alto grado de marginación; degradación ambiental reflejada en erosión de suelos y falta de cobertura vegetal; escasez de agua debido a prácticas de producción poco efectivas y deficientes; un mal manejo de su entorno natural; actividades económicas con rendimientos muy bajos por falta de recursos naturales y financiamiento y altas tasas de migración. De esta forma permite poner en práctica los objetivos del Centro y monitorear las actividades que se realizan y los resultados obtenidos en el corto, mediano y largo plazo, con la perspectiva de mejorar la microcuenca y la vida de sus habitantes, además de difundir el conocimiento generado durante todo el proceso.

## **2 PERSPECTIVA DE CUENCAS Y EDUCACIÓN EN EL CRCC**

Como menciona Dourojanni (2002) la Cuenca, concebida como un territorio delimitado por los escurrimientos superficiales que convergen en un mismo cauce, es el entorno básico indispensable para el análisis de la función ambiental, económica y social de los recursos naturales y su dinámica con fines de manejo sustentable. Este sistema que se vuelve un conjunto único e inseparable en permanente cambio, se compone de la relación de elementos bióticos, físicos y antrópicos, permitiendo múltiples posibilidades de manejo y gestión.

Esta unidad territorial, tomada en forma independiente, o interconectada con otras, es la más aceptada para la gestión integrada de los recursos naturales, especialmente los hídricos (Dourojeanni y Jouralev 2002). En este sentido, aunque es un territorio delimitado naturalmente, la cuenca hidrográfica posee connotaciones amplias dependiendo de los objetivos que se persigan. Los intereses perseguidos determinan, de algún modo, su definición y caracterización, y por consiguiente la ordenación de su territorio y el manejo de sus recursos naturales.



**Figura 1.** Elementos del Sistema Natural de una Cuenca Hidrográfica. Extraído de García (s/f)

Partiendo de la visión de este proyecto que considera las cuencas hidrográficas como sistemas ambientales complejos originados por la acción del agua en interacción con otros componentes abióticos, bióticos y los socioeconómicos en un mismo espacio geográfico, la propuesta de un material didáctico que facilite la educación enfocada a la gestión de estos sistemas es vital para promover su protección y manejo sostenible.

“Una vez que las personas cobran consciencia e interés por sus cuencas hidrográficas, a menudo se involucran más en la toma de decisiones así como en tareas de protección y restauración. Con esta participación, las propuestas para cuencas fortalecen la percepción de la sociedad, ayudan a disminuir los conflictos, aumentan el sentido de compromiso hacia las labores para satisfacer los objetivos ambientales y, por último, incrementan la posibilidad de éxito para los programas ambientales.” Environmental Protection Agency (EPA, 1996)

Se hace importante recordar el principio 19 de la declaración de Estocolmo de 1972: “es indispensable una labor de educación en cuestiones ambientales, dirigida tanto a generaciones jóvenes como a los adultos y que presente la debida atención al sector de población menos privilegiado...”

Así como la Conferencia de la ONU sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) celebrada en Brasil en 1992, aprobó el Programa 21, que proporcionó las directrices para la política y la práctica del desarrollo sostenible. Es durante este proceso de replanteamiento a nivel mundial que el manejo y gestión de cuencas surgen como una alternativa viable para el mejoramiento ambiental como lo menciona la “iniciativa de la gestión de cuencas hidrográficas de la siguiente generación”, incluida en el mismo Programa 21.

## 2.1 LA EDUCACIÓN AMBIENTAL

La frase *educación ambiental* fue definida por primera vez por el Dr. William Stapp de la Universidad de Michigan en 1969. En la Conferencia Intergubernamental sobre Educación Ambiental celebrada en Tbilisi en 1977, se planteó a la Educación Ambiental (EA) como una pedagogía de la acción para la acción, que consiste en hacer que cada persona comprenda las articulaciones económicas, políticas y ecológicas de la sociedad siendo necesario para ésto, considerar al Medio Ambiente en su totalidad. De acuerdo al Congreso Internacional de Educación y Formación sobre Medio Ambiente, celebrado en Moscú en 1987, la EA “es un proceso permanente

en el cual los individuos y las comunidades toman conciencia de su medio y adquieren los conocimientos, los valores, las destrezas, la experiencia y, también, la voluntad que los haga capaces de actuar, individual y colectivamente, en la resolución de los problemas ambientales presentes y futuros”.

Nicholas Smith-Sebasto (1997) considera que la EA tiene cuatro componentes esenciales que deben ser considerados al elaborar un programa educativo: **1. Fundamentos ecológicos:** Instrucción e información sobre cómo funcionan los sistemas terrestres de soporte vital. **2. Concienciación conceptual:** Se debe enseñar sobre el modo en que las acciones humanas afectan al ambiente. **3. La investigación y evaluación de problemas:** Es necesario aprender cómo identificar, evaluar y resolver los problemas ambientales. **4. La capacidad de acción:** Adquisición de las habilidades necesarias para participar constructivamente en la solución de los problemas ambientales, asumiendo que estos problemas no se solucionan solamente con acciones gubernamentales.

## **2.2 EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE**

En la década pasada, las discusiones conceptuales acentuaron el debate sobre la Educación Ambiental (EA) versus Educación Ambiental para la Sustentabilidad (EAS). Cuando en 1997 la UNESCO declaró extinta en los hechos a la EA, creció la polémica y se acentuó a partir de la declaración del Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sustentable 2005-2014 conocida como El Decenio (DEDS 2005-2014).

Este Decenio busca agrupar los valores que conforman al desarrollo sostenible en todos los aspectos del aprendizaje, para motivar cambios en el comportamiento que nos dirijan a una sociedad más justa y sostenible.

La Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) es un proceso de aprendizaje o de aproximación a la enseñanza con base en los principios de la sustentabilidad, que abarcan una amplia variedad de experiencias y programas. La EDS apoya fundamentalmente cinco clases de aprendizaje para facilitar una educación de calidad y fomentar el desarrollo humano sostenible: aprender a conocer, aprender a ser, aprender a convivir, aprender a hacer y aprender a transformarse uno mismo y a la sociedad.

La EDS debe ser entendida como la base para una educación y aprendizaje de calidad, al mismo tiempo que busca desarrollar el conocimiento, las habilidades, las perspectivas y los valores que contribuyan al empoderamiento de personas de todas las edades para asumir sus responsabilidades para crear y disfrutar de un futuro sostenible. La educación, en su sentido más amplio, está consecuentemente ligada al desarrollo equilibrado, el cual toma en consideración las dimensiones sociales, culturales, medioambientales y económicas de una calidad de vida mejorada para las generaciones presentes y futuras. (UNESCO, 2009).

## **3 COMUNIDAD DE APRENDIZAJE**

Las tecnologías de la información y el conocimiento están propiciando el surgimiento y consolidación de nuevas estructuras sociales y formas de organización en las que las referencias espaciotemporales tradicionales no tienen validez, puesto que nos permiten comunicarnos independientemente del lugar donde nos encontremos con multitud de personas en una interacción no condicionada por la sincronía (Garrido 2002)

El término Comunidad de Aprendizaje se ha vuelto común en los últimos años, lo que ha permitido la creación de múltiples políticas y programas en todo el mundo. Los usos relacionados a esta Comunidad de Aprendizaje (CA) está ligada por tres ejes esenciales: el eje escolar/no-escolar o extra-escolar, el eje real/virtual, y el eje que facilita múltiples objetivos y sentidos atribuidos a dicha CA. (Faris, J. y Peterson, W. 2000)

La construcción social del conocimiento es uno de los principios básicos en el cual se apoya la teoría de la CA. Se pretende así recrear la noción de dialoguicidad a la base de los procesos educativos y de crear

condiciones estimulantes y significativas de aprendizaje, para generar un saber-ser, un saber-hacer y un saber-vivir-juntos, solidaria y responsablemente.

La CA revela un enorme potencial como estrategia privilegiada en educación ambiental al favorecer y crear condiciones para desarrollar colectivamente actitudes, comportamientos y valores que contribuyen a hacer frente a la degradación del medio biofísico y deterioro de la calidad de vida, aprendiendo como lo proponen los tres tipos complementarios de educación ambiental de Lucas, sistematizados por Sauvé (1997) La educación en el medio ambiente, la educación sobre el medio ambiente y la educación por el medio ambiente. La CA crea condiciones favorables para construir nuevas relaciones con el medio de vida y para romper con la alienación de las personas y de la sociedad en relación a éste, para hacer frente al alejamiento del ser humano de su naturaleza original (Morin y Kern, 1993), a la deformación y pérdida de valores fundamentales y a la ruptura del vínculo con los otros elementos de la biósfera (Sauvé 1997). Al mismo tiempo, la estrategia pedagógica de la CA estimula procesos educativos que permiten superar las condiciones de enseñanza-aprendizaje tradicionales caracterizadas por una relación autoritaria jerarquizada, por la parcelación en materias y por la desconexión de las instituciones y procesos educativos de las realidades de su medio. Finalmente, la CA crea condiciones para contribuir al desarrollo de su comunidad y al mejoramiento de su calidad de vida.

## 4 PROPUESTA

### 4.1 OBJETIVOS

1. Identificar y analizar los referentes teóricos de: La creación de materiales didácticos, modelos enseñanza-aprendizaje, educación ambiental, Educación ambiental para la sostenibilidad y Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), con la finalidad de establecer una interrelación e integración, que facilite el aprendizaje del concepto cuenca.

2. Identificar y analizar los referentes teóricos y prácticos para la creación de material didáctico con base en el concepto cuenca, para la realización del diseño del material didáctico correspondiente, para su aplicación mediante la plataforma virtual.

3. Validar el impacto de la propuesta en un grupo representativo de gente adulta.

Como actividades adicionales se tiene: Realizar una estancia en el CRCC, donde se prevee la aplicación de entrevistas y encuestas, tanto al personal del Centro como a habitantes clave del lugar y levantamiento de imágenes y video.

Se realizó un análisis de los materiales de divulgación con que el CRCC cuenta actualmente y se encontró que se han elaborado folletos impresos, presentaciones power point, y elementos varios sobre educación ambiental dirigido a niños de primaria y secundaria.

Se encontró que se ha realizado múltiples talleres de prácticas de educación ambiental, y aprendizaje de actividades económicas para elaboración de productos de consumo para venta.

Se tuvo una entrevista con el coordinador del CRCC, Dr. Raúl Pineda López, y de acuerdo a los objetivos del Centro y de las actividades que se han venido realizando, se llegó a la conclusión de que el primer material a diseñar sería el concerniente al entendimiento de lo que es La Cuenca, para de esta forma tener herramientas que sirvan de base para cumplir las metas de capacitación del Centro, pensando en dirigirlo en primera instancia a un grupo de personas de la comunidad y responsables del CRCC, que podrían fungir como la primera generación de “capacitadores en cuenca”

## **4.2 PROCESO DE ENSEÑANZA - APRENDIZAJE EN UN ENTORNO VIRTUAL**

Existen diferentes formas de abordar el cometido de dar a conocer información con un objetivo específico como el de moldear la conducta humana. En este caso nos apoyaremos en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como herramienta para lograr los objetivos del CRCC de ofrecer capacitación multinivel.

Las TIC, son una nueva esperanza (Brush Thomas, 2007), (Basilakis, J, 2003) para lograr una educación global, con inversiones bajas y resultados satisfactorios. Estas tecnologías están sentando las bases para promover una educación independiente, comprometida y responsable al tiempo que se relacionan con todas las áreas del conocimiento, lo que motiva el saber utilizarlas como un puente alternativo de aprendizaje, de comunicación, estrategia y hasta supervivencia. Es imprescindible no sólo aceptar a las nuevas tecnologías, sino adoptarlas con agrado (Smeets, E., 2005)

Las perspectivas de las TIC como instrumento de formación (tele-formación, e-learning, enseñanza on-line, entornos virtuales de formación, etc..) están influenciadas por los avances de las telecomunicaciones y de las tecnologías de la información, así como por las transformaciones que en el campo de la enseñanza se dan por efecto de integración y/o adaptación de dichas tecnologías en los distintos contextos formativos. La combinación que se haga de cada tecnología tendrá resultados diferentes en los elementos del sistema de enseñanza: material, alumno, currículum, organización, facilitador. Es decir, podemos desarrollar sistemas nuevos al explotar las potencialidades de las TIC, ya sea en tiempo real, en forma asíncrona o de distribución de hipermedia y se pueden diferenciar tres enfoques: Un enfoque tecnológico, basado en la idea de que la sofisticación del entorno tecnológico proporciona la calidad del proceso; un segundo enfoque basado solo en el contenido y su representación y un último enfoque, metodológico, centrado en el alumno y con base en criterios pedagógicos, para lograr un balance adecuado de la tecnología, el entorno y su correcta organización.

En nuestro caso tomaremos el enfoque metodológico pues es el espacio / comunidad organizados con el propósito de lograr el aprendizaje y que requiere los componentes ya señalados: una función pedagógica (que hace referencia a actividades de aprendizaje, a situaciones de enseñanza, a materiales de aprendizaje, al apoyo y tutoría puestos en juego, a la evaluación, etc..), la tecnología apropiada a la misma (que hace referencia a las herramientas seleccionadas en conexión con el modelo pedagógico) y los aspectos organizativos (que incluye la organización del espacio, del calendario, la gestión de la comunidad, etc..).

De esta manera, se considera la organización de procesos de enseñanza-aprendizaje en este entorno virtual como un proceso de innovación pedagógica basado en la creación de las condiciones para desarrollar la capacidad de aprender y adaptarse tanto de las organizaciones como de los individuos y desde ésta perspectiva poder entender la innovación como un proceso intencional y planeado, que se sustenta en la teoría y en la reflexión, y que responde a las necesidades de transformación de la prácticas para un mejor logro de los objetivos de capacitación del CRCC.

Como parte de nuestra propuesta ponemos a consideración la definición que Morin y Seurat (1998) hacen de innovación como “el arte de aplicar, en condiciones nuevas, en un contexto concreto y con un objetivo preciso, las ciencias, las técnicas, etc...” de esta manera consideran que la innovación no es solamente el fruto de la investigación, sino también el de la asimilación por parte de la organización de una tecnología desarrollada, dominada y aplicada eventualmente a otros campos de actividad, pero cuya puesta en práctica en su contexto organizativo, cultural, técnico o comercial constituye una novedad. Así pues cualquier proyecto que implique utilización de las TIC, cambios metodológicos, formación de especialistas, etc. constituye una innovación, y es desde esta perspectiva que consideramos la aproximación de este proyecto.

### 4.3 LAS ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS

Entre los cambios introducidos por los avances de las TIC, podemos indicar las aplicaciones de comunicación mediante computadora y, las webtools integradas conocidas como ‘plataformas’, (Learning Managent Systems, LMS) relacionadas con la creación de entornos virtuales de aprendizaje (Virtual Learning Environments VLE) (De Benito, 2000), y que preferimos denominarlas entornos virtuales de enseñanza-aprendizaje (EVEA).

Un entorno de enseñanza-aprendizaje es el área donde un alumno o comunidad de alumnos desarrollan su trabajo, incluyendo herramientas, documentos, etc. que sean utilizados en el lugar, el escenario físico, y también las características socio/culturales para tal trabajo. Así, un entorno de formación presencial, a distancia o de cualquiera otro modelo mixto, basado en las TIC, se apoya en decisiones relacionadas con el diseño de la enseñanza –desde el punto de vista de la institución, del docente y del propio alumno– y en decisiones que tienen que ver con la tecnología en sí misma y la selección del sistema o herramientas de comunicación más adecuadas.

Las decisiones de diseño de la enseñanza están delimitadas por las características del CRCC. Se pretende que los materiales puedan utilizarse a distancia o de forma semi-presencial, se analizaron lineamientos para la elaboración de los materiales en línea, privilegiando aquellos contenidos actuales, pragmáticos e inteligentes, y su evaluación será en primera instancia en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro, por falta de espacios físicos disponibles. La metodología de uso es mediante una plataforma con un diseño ad hoc al CRCC (imagen y logotipos correspondientes) que contiene video, presentaciones, documentos para lectura, acorde al primer tema a desarrollar para este proyecto: Conociendo La cuenca. La plataforma incluye varios elementos en su página de inicio: El título del tema, un video de bienvenida donde podrá visualizarse al experto que hará las veces de “profesor” virtual, un texto de bienvenida explicando los objetivos e instrucciones necesarias para realizar la capacitación, botón de ingreso (si fuera el caso), temario, breve currículum del “profesor” virtual, área de “trabajo virtual” donde se podrá acceder a los materiales, videos explicativos, evaluaciones de avance, etc. Las evaluaciones se realizan con opción múltiple y respuesta corta principalmente. El docente que realiza la evaluación tiene la opción de realizar exámenes en las reuniones presenciales también. La negociación de cómo evaluar ya sea en manera presencial o virtual sería opcional de acuerdo al tema y al “profesor”.

Con relación a los “alumnos” se tendrá una sesión previa con suficiente antelación para explicar los procesos relacionados con la plataforma desde el punto de vista del usuario, del porqué de la evaluación o prueba de esta plataforma, los objetivos a cubrir, necesidades de recursos o equipamiento disponible.

Con relación a la tecnología que involucra la selección del sistema a utilizar se está trabajando en sistema Mac y PC con la intención de poder usar el “site” en cualquier computadora para su prueba inicial y posteriormente cargar la plataforma de manera definitiva en un servidor del CRCC. Se debe poder distribuir fácilmente los contenidos, con acceso a la información e interacción por parte de los coordinadores y alumnos para una gestión adecuada y un control de los usuarios sobre el proceso de avance del curso. Con esta necesidad en mente y después de evaluar las herramientas y presupuesto disponibles, se decidió utilizar una de las plataformas educativas gratuitas de mayor renombre a nivel mundial: Moodle. Moodle es un sistema de administración de contenidos (LMS por sus siglas en inglés), actualmente utilizado por más de 3000 instituciones educativas en todo el mundo (Moodle, 2013). No se pretende que la plataforma Virtual se limite a Moodle, sino también ha otras herramientas o nubes virtuales como Dropbox y algunos espacios de videoconferencias como Anymeeting.com o Skype.

El tener una plataforma virtual no es garantía de calidad en el desarrollo de los cursos. Por esta razón, se realiza una capacitación alterna para el uso de la plataforma virtual antes iniciar con la preparación de los materiales.

Para la elaboración de los lineamientos se hizo un estudio de los cursos diseñados por universidades de renombre mundial como Stanford (<http://online.stanford.edu/>), Harvard (<http://www.extension.harvard.edu/distance-education/online-course-offerings>) y Cambridge (<http://www.ice.cam.ac.uk/courses/online-courses>). Así mismo, la observación de cursos gratuitos ofrecidos en Coursera (<https://www.coursera.org/>), Khan Academy (<http://www.khanacademy.org/>), así como edX (<https://www.edx.org/>).

## 5 CONCLUSIONES

Se propone hacer un análisis de los recursos del CRCC de cuando en cuando y de la currícula de los cursos que se ofrecerán, para en un momento dado y apoyado con el Marco pedagógico crear una misión, una visión y los valores, estableciendo objetivos a corto, mediano y largo plazo para revisar la visión al menos una vez cada año y renovarla cuando sea necesario.

La misión podría ser la de fomentar el autoaprendizaje promovido por los recursos en línea, con información incluida en clases muy bien elaboradas y de calidad mundial, así como también apoyar al personal académico / facilitador a implementar sus cursos virtuales de manera inteligente, responsable y dentro de los estándares internacionales .

En este proceso de insertar al CRCC en las nuevas tecnologías de aprendizaje - enseñanza mediante las TIC, y sin la intención de inventar el hilo negro, nos quedamos con las siguientes reflexiones: En la medida que no perdamos de vista la comunicación, los materiales, la plataforma o interfaz, capacidades tecnológicas, etc. es decir, los aspectos tangibles; y además el rol del profesor, la pedagogía, el diseño correcto de actividades, los coordinadores, la múltiple interacción, la evaluación, la satisfacción de todos los involucrados, o sea, lo intangible, seremos capaces de construir alternativas más en cercanas que la educación a distancia y de otros estilos o formatos que los de la enseñanza presencial.

Estamos convencidos que la educación en Entornos Virtuales de Enseñanza Aprendizaje es una nueva posibilidad de lograr un aprendizaje flexible y abierto. Para ello son necesarias buenas condiciones de trabajo para los coordinadores o “profesores” y los “alumnos”, una red rápida, funciones y personal eficaces para el desarrollo del campus virtual, análisis y calidad de los contenidos, adecuación pedagógica de las actividades, comunicación pedagógica fluida, coherencia con los proceso de evaluación y acreditación. Y algo muy importante: Los hábitos docentes deben ser totalmente flexibles y compatibles. Solo así se puede asegurar la calidad de los materiales y por ende los buenos resultados de la capacitación ofrecida por el CRCC

## REFERENCIAS

- Pineda, R. 2010. *Proyecto De Creación del Centro Regional de Capacitación en Cuencas*. Universidad Autónoma de Querétaro. Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Documento PDF.
- Dourojeanni, A. 2002. *Gestión integrada de recursos hídricos y del medio ambiente, Taller “De Rio a Johannesburgo. La Transición hacia el Desarrollo Sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe”* (México, 6 al 8 de mayo de 2002)
- Dourojeanni, A. Jouralev, A. Chávez, G. (2002). *Gestion del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. Documento PDF.
- Garrido, A. 2002. El aprendizaje como identidad de participación en la práctica de una comunidad virtual, Programa de Doctorado. Sociedad de la Información y el Conocimiento. Universitat Oberta de Catalunya.

- Nadal R., Eugenio. 1993. *Introducción al análisis de la Planificación Hidrológica*. Madrid: MOPT.
- Helweg, Otto J. 1992. *Recursos Hidráulicos: planeación y administración*. México: Limusa - Grupo Noriega Editores, 1992.
- Dourojeanni, A. 1994. *La gestión del agua y las cuencas en América Latina*. Revista de la CEPAL. Vol. 52.
- Varela M., Efrén. 1992. "Planificación-Acción en Cuencas Hidrográficas: un enfoque empírico desestructurado o estructurante". En: Seminario Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. AINSA, Medellín 20-23 de 1992).
- García, W. (s/f) *El Sistema Complejo de la Cuenca Hidrográfica*. Documento PDF.
- EPA (1996) "Why Watersheds?" Recuperado de <http://water.epa.gov/type/watersheds/why.cfm>
- Smith-Sebasto N. 1997. *Environmental Issues Information Sheet EI-2*, University of Illinois Cooperative Extension Service.
- Complexus. 2004. *Conclusiones del "Foro de discusión en Educación Superior y Desarrollo Sustentable"*, organizado por el Consorcio Mexicano de Programas Ambientales Universitarios para el Desarrollo Sustentable (Complexus), León, Guanajuato.
- UNESCO 2005 Plan de Aplicación Internacional (Proyecto) del Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible 2005-2014. París, 60p. Documento web: [http://portal.unesco.org/education/es/ev.php-URL\\_ID=27234&URL\\_DO=DO\\_TOPIC&URL\\_SECTION=201.html](http://portal.unesco.org/education/es/ev.php-URL_ID=27234&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html)
- UNESCO 2009 *Manual de educación para la sostenibilidad*. Documento web: [http://www.unescoetxea.org/ext/manual\\_EDS/unesco.html](http://www.unescoetxea.org/ext/manual_EDS/unesco.html)
- FARIS, J.; Peterson, W. 2000. "Learning-based Community Development: Lessons Learned from British Columbia". Document submitted to the Ministry of Community Development, Cooperatives and Volunteers, Canada, July 12, 2000 (mimeo).
- Sauvé, L. 1997. *Pour une éducation relative à l'environnement*. Montréal : Guérin, Paris : Eska.
- Morin, E. y Kern, A. B. (1993). *Terre-Patrie*. Paris: Éditions du Seuil.
- Brush, Thomas. 2007. *Integrating technology into K-12 teaching and learning: current knowledge gaps and recommendations for future research*. Educational Technology Research And Development, 55, 3, 223-252.
- Basilakis, J. 2003. *Using information technology to improve the management of chronic disease*. Medical Journal Of Australia.
- Smeets, E. 2005. *Does ICT contribute to powerful learning environments in primary education?*. Computers & Education.
- Morin, J.; Seurat, R. (1998). *Gestión de los Recursos Tecnológicos*. Cotec, Madrid
- DeBenito, B. 2000. *Posibilidades educativas de las 'webtools'*. Universitat de les Illes. Balears, Palma de Mallorca





# TENSIONES SOCIOPOLITICAS POR LA REDISTRIBUCION Y SANEAMIENTO DEL AGUA EN LA CUENCA URBANIZADA DEL RIO APATLACO, MORELOS

Sergio VARGAS VELÁZQUEZ <sup>a</sup>, Cipriana HERNÁNDEZ ARCE <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, Cuernavaca, Mor.  
[kuirunhari@yahoo.com.mx],

<sup>b</sup> Universidad Autónoma del Estado de Morelos [cipri1970@hotmail.com],

## RESUMEN

La cuenca del río Apatlaco forma parte de la Región Hidrológica del río Balsas, la cual ya no cuenta con disponibilidad de agua, siendo esta una de sus regiones más urbanizadas del país. El río Apatlaco cruza la ciudad de Cuernavaca y toda su área metropolitana en los municipios de Jiutepec, Temixco y Xochitepec, teniendo alrededor, pero principalmente hacia la cuenca baja, diferentes sistemas de riego que reciben ahora casi sólo agua residual sin tratamiento. Es una cuenca urbanizada en tanto la racionalidad de la gestión del uso y descarga de aguas residuales está marcada por la dinámica urbana. La actual expansión urbana y su necesidad de más agua, tiene al límite la disponible de agua de su entorno periurbano. Este trabajo es parte de un proyecto de investigación fundamentado en un enfoque sistémico que vincula la dinámica hidrológica con los procesos sociopolíticos.

**Palabras clave:** urbanización, saneamiento, distribución, conflictos

## 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, a nivel mundial es cada vez más frecuente que se presenten situaciones en las que el agua en determinadas regiones hidrológicas resulta insuficiente para cubrir las necesidades humanas, generándose con esto situaciones de sobreexplotación de los recursos hídricos, y consecuentemente afectando al medio ambiente. Este proceso ha sido conceptualizado como cerramiento de cuenca (river basin closure), en tanto se vuelve cero la disponibilidad de agua para nuevas o mayores demandas del recurso (Keller et al, 1998). Las razones que explican esto son multifactoriales, pero las fuerzas conductoras de este proceso son fundamentalmente resultado de las actividades humanas sobre el ambiente, siendo el crecimiento demográfico y la complejización de las actividades económicas sus dos grandes causantes.

El cerramiento como los conflictos por el agua son procesos de construcción social, en los cuales las respuestas a las limitantes están dadas por sistemas sociopolíticos, inclusive las soluciones técnicas pasan generalmente por algún filtro de carácter político, ya que en ocasiones hay posibles soluciones técnicas, pero difícilmente aceptables por todas las partes; de esta manera pasamos de la racionalidad del recurso –de la visión tecnocrática que percibe al recurso natural como objeto de su análisis y explicación del ‘problema’- a analizar la racionalidad de las instituciones –los actores sociales y gubernamentales involucrados y sus prácticas- que tienen que ver con el manejo del recurso.

A nivel internacional han surgido varias iniciativas para estudiar las trayectorias que siguen este tipo de cuencas, en términos biofísicos como sociales, con el fin de elaborar políticas públicas para enfrentar este tipo

de situaciones. A nivel internacional se ha impuesto el paradigma de la gestión integrada del agua por cuenca hidrológica, el cual México asumió desde 1990, a pesar de su tradición de política pública centralizada en el gobierno federal. Toda definición sobre la crisis del agua debe partir de considerarla como una situación compleja, ya que nunca antes en la historia de la humanidad se habían presentado desafíos por el agua tan severos debido a la transposición de los límites de sustentabilidad en el uso del recurso en muchas regiones del planeta. Hay demasiados ejemplos sobre el agotamiento y contaminación extrema de ríos, de especies acuáticas en peligro de extinción y de acumulación de químicos agrícolas en los ecosistemas naturales; de ciudades que crecen con excesiva rapidez, industrias emergentes y un aumento en el uso de químicos en la agricultura; todo ello ha minado la calidad de muchos ríos, lagos y ecosistemas naturales. Los recursos subterráneos se han convertido en la fuente preferida tanto para usuarios agrícolas como para los del agua potable y, sin embargo, también se están contaminando y deteriorando.

El área Metropolitana de Cuernavaca es parte de la Corona Regional del Centro de México, conjunto de áreas metropolitanas que imponen una alta densidad demográfica e intensidad de uso del agua. Hace dos décadas se iniciaron movimientos sociales y luchas en distintas partes de la cuenca por la calidad del agua y la conservación ambiental. En poco tiempo se organizaron distintos grupos, tanto agricultores como habitantes de la cuenca baja por la calidad del agua y el saneamiento, ONGs ambientalistas, académicos y habitantes urbanos por la conservación de las barrancas en las que escurren los afluentes del río Apatlaco, así como diversos conflictos por el acceso y distribución del agua, o simplemente frenar la urbanización.

## **2 LA REGIÓN Y SUS PRINCIPALES PROBLEMAS**

La cuenca del río Balsas es una cuenca cerrada técnicamente, ya que toda el agua que escurre por ella está ya repartida entre distintos usos y usuarios. Este hecho obedece a una política gubernamental de uso del agua hasta sus límites, e incluso más allá de sus límites ecosistémicos. En este caso, a diferencia de cuencas mucho más secas del norte del país, o con mayor densidad de población como el valle de México y la cuenca Lerma-Chapala, la cuenca del río Balsas se caracteriza por su orografía accidentada, lo cual siempre ha obstaculizado los proyectos de infraestructura de riego en amplias zonas, quedando el mismo restringido a las vegas de los ríos principales y algunos valles correspondientes principalmente a la región del Alto Atoyac, Amacuzac, y Tierra Caliente de Michoacán en la subcuenca del río Tepalcatepec.

La cuenca tiene una superficie 117,645 km<sup>2</sup>, la cual representa el 5.8% de la República, abarcando superficie de los estados de Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, México, Michoacán, Guerrero, Jalisco, Veracruz, Distrito Federal y Morelos. En esta cuenca viven alrededor de 10.4 millones de personas, lo que implica que una relativamente baja densidad de población. De éstos, el 67% se concentra en la parte alta de la cuenca. Dentro de la Región IV Balsas existen 17 centros urbanos de mediana y grande importancia, con una población de 50 mil habitantes o más, en donde se concentra el 30.8% de la población total, estos Centros son: San Martín Texmelucan, Puebla, Cholula y Atlixco en el estado de Puebla; Tlaxcala y Apizaco en el estado de Tlaxcala; Cuernavaca, Cuautla, Jiutepec y Temixco en el estado de Morelos; Chilpancingo e Iguala en el estado de Guerrero, y Apatzingán, Uruapan, C. Hidalgo, Zitácuaro y Lázaro Cárdenas en el estado de Michoacán. Es importante señalar que en el Alto Balsas se concentra el 69% de la población, misma que superficialmente ocupa el 39.4 por ciento.

Existe un notable desarrollo industrial concentrado en las zonas adyacentes a los principales núcleos urbanos (Puebla, Cuernavaca y Tlaxcala), en los que son elevados los niveles de servicio de agua potable y alcantarillado. Las ramas principales son la industria textil, metalmecánica, automotriz, química, azucarera,

alimenticia y papelería. Las zonas claramente identificadas son el Corredor Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC), la zona conurbada de la ciudad de Puebla y el estado de Tlaxcala.

Se presentan serias desigualdades entre el desarrollo de las distintas zonas, particularmente, en el medio rural donde existen condiciones de marginalidad elevada, especialmente en las zonas que pertenecen a los estados de Oaxaca y Guerrero. Sin embargo, el acceso a ciertos bienes públicos como el agua potable se ha incrementado considerablemente en la última década. La cobertura de servicios en los centros urbanos, es de 83% y para localidades rurales del 58%. La cobertura media de alcantarillado es del 68%. La cobertura de saneamiento rural en la Región es inferior al 6%, a excepción de las porciones de los estados de Tlaxcala y Morelos ubicadas en el ámbito Regional donde son de 20 y 29 %, respectivamente (Conagua, 2003).

Los cuerpos de agua superficiales localizados en el Alto Balsas presentan en general condiciones de altamente contaminados, que es consecuencia de un acelerado crecimiento de la población de los centros urbanos, de los estados de Morelos, Puebla y Tlaxcala, y la deficiente gestión pública de las descargas de aguas residuales. Este incremento poblacional ha estado acompañado por un creciente desarrollo industrial con importantes secuelas contaminantes. En la zona urbana-industrial de Morelos se generan principalmente contaminantes asociados a las descargas municipales, junto con descargas de industrias manufactureras de la zona de Corredor Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC) (Conagua, 2003).

Se estima que el 6.7% del PIB nacional se genera en esta Región. La PEA es del 27% y el 68% y se concentra en la subregión Alto Balsas, esencialmente en los sectores secundario y terciario. Al nivel regional, las actividades económicas predominantes son la agricultura, con el cultivo de maíz, caña de azúcar, hortalizas, frijol y arroz. El sector agrícola, el cual utiliza la mayor cantidad de agua (el 88% del total) sólo genera el 10.4 de Producto Interno Bruto (Conagua, 2003).

Sin embargo, en los últimos años empieza a manifestarse tensiones por el agua superficial. Esto se explica por el hecho de ser una cuenca cerrada, en donde toda el agua que escurre está ya asignada a un uso humano, existiendo un reducido margen para la ampliación de la oferta de agua superficial para nuevos usos y usuarios. Generalmente se ha ido cubriendo con agua subterránea la demanda urbana-industrial creciente, concentrada en la cuenca de Amacuzac y Alto Atoyac y la zona de Puebla.

El cierre de la cuenca se explica más por el hecho de que el uso del agua está concentrado en la parte baja para la generación de energía hidroeléctrica, y no tanto para la agricultura, como usualmente sucede en cuencas con nula disponibilidad, en donde la solución es quitarle agua a la agricultura para transferirla al uso urbano-industrial a través de múltiples mecanismos legalizados a partir de la Ley de Aguas Nacionales de 1992, y ampliados en su reforma de 2004, como son los mercados de volúmenes y derechos de agua, los bancos de agua, o como más bien ha seguido operando la Comisión Nacional del Agua, por la simple y llana decisión de la autoridad federal. Este uso está sustentado en los proyectos que para tal fin se dieron desde la década de los años 1930, cuando se visualizó que por las características de la cuenca, ahí no se podrían ampliar las superficies de riego, como en la llanura costera del noroeste, o al menos como en los valles intermontanos del Bajío.

El Estado de Morelos se encuentra localizado en su totalidad dentro de la gran cuenca del río Balsas, específicamente en la porción denominada Alto Balsas. A su vez la cuenca del río Balsas está compuesta, con forme a una escala geográfica, por subcuencas o cuencas más pequeñas y resaltan en esta caso dos ubicadas precisamente en la región del Alto Balsas, las subcuencas de los ríos Amacuzac y Nexapa. La mayor parte del Estado de Morelos se encuentra dentro de la subcuenca del río Amacuzac (el 87 por ciento de su territorio) y el resto en la cuenca del río Nexapa. (CONAGUA-IMTA-Gobierno del Estado de Morelos, 2008: 17-18).

En la porción del Estado correspondiente a la subcuenca del río Amacuzac, se ubican cinco principales ríos: Apatlaco, Yautepec, Cuautla, Chalma-Tembembe y Amacuzac y el Lago de Tequesquitengo, uno de los cuerpos agua más importantes dentro del Estado. Los cuales representan seis de las microcuencas en que se ha dividido Morelos. En tanto que en la porción de la subcuenca del río Nexapa, únicamente se ubica dentro del Estado, la microcuenca del mismo nombre (CONAGUA-IMTA-Gobierno del Estado de Morelos, 2008, págs. 17-18).

La cuenca del río Apatlaco se ubica en la porción noroeste del estado de Morelos, limita al norte con el Distrito Federal, al norte y noroeste con el Estado de México, al oeste con la microcuenca del río Tembembe, y al este y al sur con la microcuenca del río Yautepec. El río Apatlaco se forma con el escurrimiento del agua que fluye a través del Estado de México, una pequeña parte del Distrito Federal y el estado de Morelos por las barrancas que lo cruzan de norte a sur, aunado a las filtraciones provenientes de la zona de las lagunas de Zempoala. Esto ocurre debido al acentuado declive que caracteriza la región (de 3 690 a 880 metros sobre el nivel del mar). Su nacimiento como cauce ya definido se señala en el manantial de Chapultepec, de la ciudad de Cuernavaca, y su desembocadura en el río Yautepec, del municipio del mismo nombre, el cual por su parte, se integra más adelante al río Balsas. La longitud del río Apatlaco en la cuenca y en el Estado es de 62.91 kilómetros (Conagua-IMTA, 2008, pág. 17).

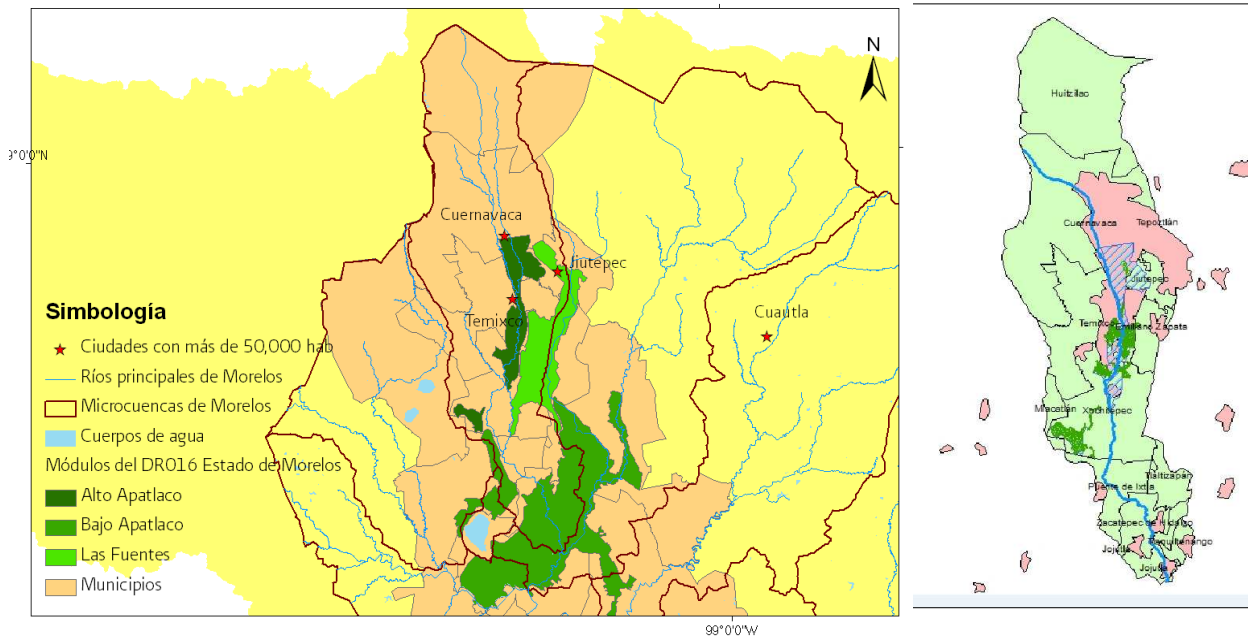
Esta delimitación geográfica lleva de manera indirecta otra delimitación del sistema a un contexto de manejo y gestión del recurso agua el cual comprende entonces sólo políticas, usuarios, autoridades e instituciones relacionadas a este recurso. En Morelos las instituciones encargadas de la gestión, manejo y administración del agua son: a nivel federal la Comisión Nacional del Agua (Conagua), el Organismo de Cuenca Balsas (OCB), el Consejo de Cuenca del Río Balsas (CCRB); a nivel estatal sobresale la Comisión Estatal de Agua y Medio Ambiente (CEAMA), el Comité de la Cuenca del Río Apatlaco (CCRA), el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Cuernavaca (SAPAC), la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC) ubicada en el municipio de Jiutepec, como usuario y principal agente contaminador de las aguas del río Apatlaco, así como la Ciudad de la Confección en el municipio de Emiliano Zapata y el Ingenio Azucarero “Emiliano Zapata” en el municipio de Zacatepec; la Unión de Usuarios Cuenca de Las Fuentes, la Asociación de Usuarios del Alto Apatlaco y la Organización de Usuarios de Riego Agrosiglo XXI como los principales usuarios agrícolas de esta zona.

En cuanto a las “condiciones de contorno o condiciones en los límites” del sistema que Rolando García establece como “flujos” (de materia, de energía, de créditos, de información, etc.) sujetos a cambio y por lo que es importante considerar su velocidad de cambio. En el contexto del sistema en estudio uno de los flujos más importantes a considerar es el que tiene que ver con el recurso agua, en términos de su distribución, disponibilidad y en el caso particular del estudio en cuanto a su calidad.

En este punto, la cuenca del río Apatlaco tiene una extensión territorial de 647 kilómetros cuadrados, la cual representa el 13 por ciento del Estado de Morelos y una población dentro de su territorio de 885 437 habitantes, prácticamente la mitad de la población que habita en el Estado de Morelos. Territorialmente abarca parcialmente 13 municipios de Morelos, pero poblacionalmente sólo 10 de ellos tienen una actividad importante dentro de ella. El 87 por ciento de la superficie del municipio de Cuernavaca queda inscrito en la cuenca del río Apatlaco y el 97 por ciento de su población. Esto para la cuenca representa alrededor del 28 por ciento de su territorio y el 40 por ciento de su población, respectivamente (IMTA-Fundación Gonzalo Río Arronte, 2007, pág. 5)

Además, se pueden distinguir de manera parcial tres módulos del Distrito de Riego 016. Los usuarios de riego de estos módulos se encuentran organizados mediante las asociaciones civiles: Unión de Usuarios

Cuenca de Las Fuentes, Asociación de Usuarios del Alto Apatlaco y Organización de Usuarios de Riego Agrosiglo XXI (CONAGUA-IMTA-Gobierno del Estado de Morelos, 2008: 54).



**Figura 1.** Módulos del DR016 Estado de Morelos en la cuenca del río Apatlaco  
Fuente: Elaboración propia, con base en PHEDS de Morelos.

Para el riego de los ejidos o zonas agrícolas localizadas en la cuenca, conforme a datos del Registro Público de Derechos de Agua (abril de 2008), se utiliza anualmente un volumen de agua superficial de 185 hectómetros cúbicos, proveniente en su mayoría del río Apatlaco. De este volumen, el 36 por ciento es usado para satisfacer la demanda del módulo de Las Fuentes, y proviene de diversos manantiales. El volumen de extracción anual de agua superficial total en la cuenca asciende a 199 hectómetros cúbicos, el 94 por ciento de este para la agricultura, seguido del uso público urbano (con el 4 por ciento) e industrial (con el 2 por ciento).

En cuanto al uso de agua subterránea, en la cuenca, se calcula que se extrae de pozos y norias anualmente un volumen total de 194 hectómetros cúbicos de agua. Este volumen de extracción se satisface principalmente con agua proveniente del acuífero Valle de Cuernavaca, del que se estima se extraen anualmente alrededor de 168 hectómetros cúbicos en la cuenca, lo que representa el 87 por ciento. El principal usuario del agua subterránea es el uso público urbano con el 87 por ciento, seguido nuevamente del uso industrial con un 9 por ciento, el uso agrícola con el 3 por ciento y un uno por ciento para los servicios (CONAGUA-IMTA-Gobierno del Estado de Morelos, 2008, págs. 54-55).

El río Apatlaco se forma en una serie de barrancas situadas al oeste de Cuernavaca, entre las que se encuentran las de Tetlama, Del Túnel, de San Antón, de la India y de Coajomulco. Sigue una trayectoria de norte a sur, corriendo por las zonas de cultivo de los poblados de Temixco, Acatlipa, Xochitepec, Atlacholoaya, Xoxocotla, Tetlepa, Zacatepec y Jojutla de Juárez. Los aportes más importantes que recibe a lo largo de su recorrido, son los del río Tetlama por la margen derecha y el río Palo Escrito por la izquierda. Su principal uso consiste en el riego agrícola, así como receptor de las descargas municipales de Zacatepec y

aguas tratadas de ECCACIV y la descarga del Ingenio Emiliano Zapata. El río Apatlaco tiene un recorrido aproximado de 40 km desde el poblado de Alta Palmira hasta la desembocadura en el río Yautepec.

Dentro de la cuenca se ubican tres grandes ciudades: Cuernavaca, Jiutepec y Temixco, y se localizan los municipios con el mayor ritmo de crecimiento en el Estado, los cuales se pueden agrupar en dos núcleos: Cuernavaca, Jiutepec, Temixco y Xochitepec, por un lado, y Jojutla, Zacatepec y Tlaltizapán, por el otro. La superficie total de la cuenca es de 659.41 km<sup>2</sup>, tal como fue definida como unidad de gestión –cabe señalar que fue excluida la porción del Estado de México, así como se dio un debate acerca de la exclusión precisamente de la localidad urbana de Xoxocotla, cuando en documentos anteriores si aparecía como parte de la misma. Esto representa el 13% de la superficie del estado, pero en ella se concentran poco más de 830 mil habitantes, en 290, las cuales representan el 51% del total estatal.

En el Programa Hídrico del Estado de Morelos para el período 2007-2030, se reconoce que la cuenca del río Apatlaco es una de las más contaminadas en la región centro país. Esto se debe a al alto grado de contaminación por descargas directas sin tratamiento a los cauces y barrancas, las cuales se generan principalmente en el área urbana de la ciudad de Cuernavaca, pero ya en la parte alta se presentan problemas de calidad de agua en varios de sus cuerpos de agua. En general, la cuenca se encuentra en un alto grado de deterioro ambiental por la ampliación desmedida de las actividades humanas sobre todo su territorio.

Si bien la cantidad de agua a la que acceden los usuarios es lo que aparece primero en la preocupación de los distintos sectores sociales (Vargas, Soares, Guzmán, 2006), es ahora la contaminación de las aguas lo que está restringiendo las actividades productivas sobre todo aquellas que se derivan del uso del agua (agropecuarias y de turismo). Existen descargas directas a los canales de riego ubicados en las zonas urbanas, y se evidencia una débil regulación pública del proceso de urbanización: hay casos de incluso modificaciones a los cauces del río Apatlaco, ejemplo del manantial de Palo Escrito y un campo de golf en el municipio de Zapata, que a pesar de implicar una sanción por parte de Conagua, esto no ha ocurrido.

No hay duda que uno de los factores fundamentales de tales problemas derivan del desarrollo urbano desordenado, presionado por la especulación inmobiliaria, lo que ha impactado seriamente en la cuenca al cambiar los usos del suelo, absorbiendo prácticamente dos módulos de riego del distrito 016, Estado de Morelos; los módulos de Alto Apatlaco y Las Fuentes. La urbanización implica la impermeabilización de un área importante, alterando el comportamiento hidrológico del acuífero, que tiene una base de material kárstico, y con la problemática de deforestación en la zona altas de la cuenca ha provocado acumulación de arrastres de suelo en las partes media y baja. También es un grave problema la alta concentración de basura en barrancas y cauces; lo cual se expresa socialmente con el conflicto sobre la ubicación de los basureros como el de Loma de Mejía.

La contaminación del agua en el estado de Morelos es ocasionada principalmente por los desechos industriales y municipales, los cuales han adquirido dimensiones considerables en los últimos años. A mediados de la década de 1990, las descargas de aguas residuales medidas como DBO, anualmente aportan 44.8 millones de kg, con una descarga de aguas residuales de 2,498 L/s, correspondiendo el 83 % de origen industrial y el 17 % a las de origen urbano. Desde principios de la década de 1990, es el sector industrial los principales aportadores son la industria azucarera con el 65 %, la fabricación de alimentos con el 17 %, la industria textil con el 2 %, la elaboración de bebidas el 1 % y la industria química el 1 %. Los principales contribuyentes de dicha contaminación son los municipios de Zacatepec, con 49 %, Yautepec con el 21 %, Cuautla con 14 % y Cuernavaca con el 11 %. (Saldaña, 1995)

En el municipio de Cuernavaca, el problema es causado principalmente por los desechos generados por la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC), establecida desde 1972. Actualmente, CIVAC está

integrada por industrias de diversas ramas, tales como la textil, química, farmacéutica, automotriz, plásticos, maquinaria y herramientas metálicas entre otras, además de contar con áreas habitacionales y de servicios.

Los desechos de CIVAC, así como zonas aledañas, descargan en los drenajes naturales más cercanos, específicamente en las Barrancas Puente Blanco y La Gachupina, mientras que la descarga de los alrededores como el fraccionamiento Villa del Descanso, Pedregal de las Fuentes, Las Palmas, colonia Flores Magón y los poblados de Jiutepec, Tejalpa y Tlahuapan, descargan en la Barranca Rivetex, rastro municipal y Puente Blanco; sin embargo, a partir del funcionamiento de la Empresa para el Control de la Contaminación del Agua de la Ciudad Industrial del Valle (ECCACIV), parte de los desechos de la zona industrial son conducidos a la planta de tratamiento, la cual descarga su efluente en la Barranca Puente Blanco. En ambos casos, las aguas que llegan a las barrancas son aprovechadas corriente abajo para el riego agrícola, posteriormente desembocan en el río Apatlaco a la altura del municipio de Xochitepec, que es afluente del río Amacuzac.

### **3 EFECTOS SOCIALES SOBRE LA CUENCA BAJA**

Existe una larga tradición en las comunidades campesinas e indígenas de nuestro país por la gestión y manejo de sus sistemas de agua potable. Ello se explica a la ausencia de soluciones por parte de los gobiernos para satisfacer la demanda del líquido, ante lo cual las comunidades han tendido a responsabilizarse de su propio abastecimiento, en muchas ocasiones con base en la organización comunitaria tradicional, con la cual realizan las gestiones para obtener recursos y organizan el trabajo para el mantenimiento del sistema y la distribución del agua. También es importante el valor cultural que tienen los arroyos manantiales y fuentes de agua para muchas comunidades, por lo que son cuidados y administrados para conservarlos como parte de sus recursos colectivos.

La experiencia de Xoxocotla, Morelos, es el de una comunidad indígena en rápida transformación que ha logrado asumir el control y administración del sistema de agua potable. Este proceso se consolidó mediante la organización de una asociación civil que está al servicio comunitario y que es el interlocutor con las autoridades estatales.

Los procesos políticos de estas comunidades están íntimamente ligados a sus recursos naturales. La introducción del agua potable en el sur de Morelos se realizó en las décadas de 1930 y 1940, estuvo a cargo de las autoridades locales que en aquel entonces iniciaron un proceso que traía consigo una movilización en las localidades y la gestión con las autoridades estatales y federales. Con el apoyo de Lázaro Cárdenas, quien visitó Xoxocotla en 1936, en el pueblo se fortaleció la participación comunitaria para realizar el trabajo de canalización de las redes de agua, proveniente del manantial Chihuahuita. Las faenas tenían un carácter voluntario ya que había conciencia del beneficio que se iba a obtener y un carácter obligatorio pues las autoridades locales ejercían presión sobre los colonos para que trabajaran en esta obra. De la dotación que le correspondía también se entregó agua a varios pueblos entre Jojutla y Zacatepec. El agua ya era entonces insuficiente. La situación se agravó ante el crecimiento demográfico. Con el fin de resolver el problema se crearon varias comisiones que fueron a la ciudad de México y al estado de Michoacán para pedir apoyo a Lázaro Cárdenas. Xoxocotla hasta antes de 1969 resolvía sus problemas de forma burocrática, solicitando apoyo de alguna autoridad. En el pueblo había inconformidad con algunos particulares, colonos y empresarios que acaparaban el agua, un grupo de personas se organizó para destruir sus tomas de agua. Los colonos y granjas recurrieron al gobernador, argumentaron que tenían derecho a utilizar el agua potable ya que pagaban los impuestos, y acusaban a Xoxocotla de no hacerlo. En la década de setenta hubo movilizaciones importantes

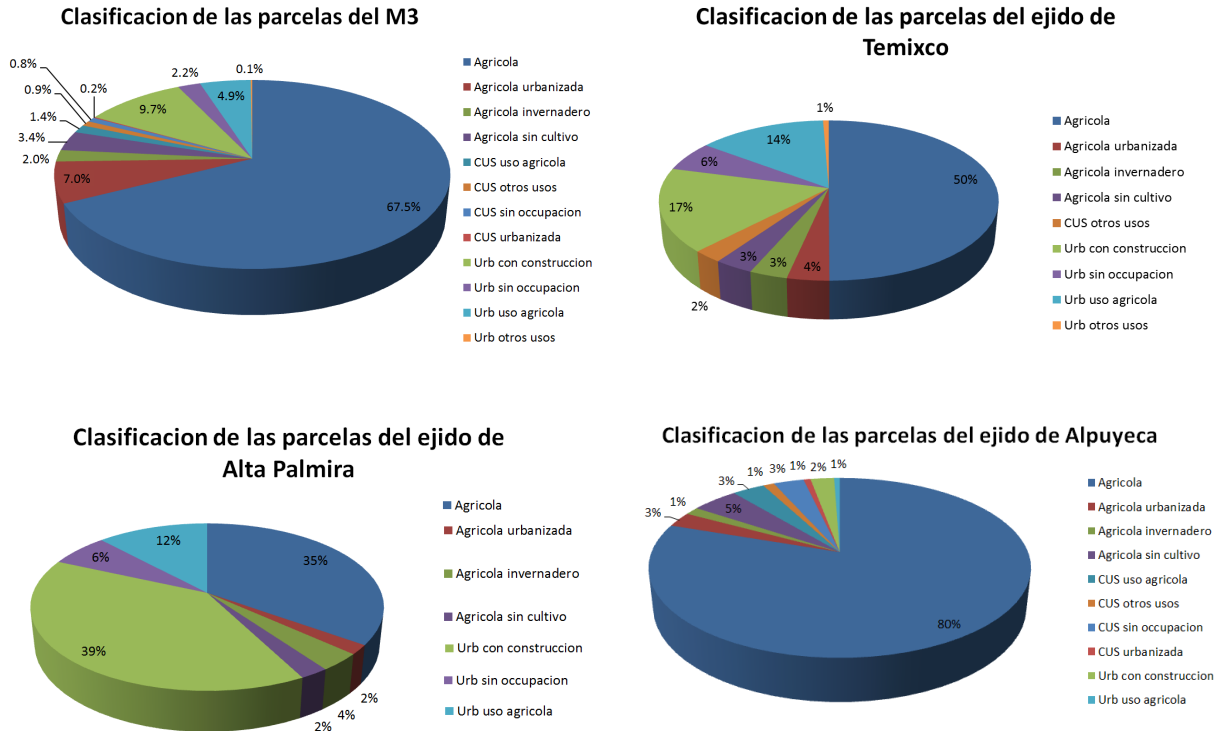


en torno a la obtención del agua potable. El Comité de Agua Potable fue creado en 1975, consolidó su poder de convocatoria y estuvo a cargo de la organización del trabajo comunitario para la instalación de la red de agua. La dotación del agua se regularizó hasta 1976. La comunidad se organizó para el trabajo de instalación, cada ciudadano aportaba cinco jornadas voluntarias por tres días. En esta organización participaron muy pocos profesionistas. A quienes no participaban en las faenas se les cobraba el salario correspondiente a cinco jornales de trabajo. La movilización para el trabajo de instalación del agua potable duró cinco años.

En 1998 resurgen los problemas por el agua potable procedente del manantial Chihuahuita. Se trataba de independizar la red de agua de Xoxocotla de los otros pueblos: El Mirador, Tetelpa, San Miguel, Santa Rosa Treinta, la Colonia y San José Vista Hermosa. El agua se tornó insuficiente debido al crecimiento demográfico, si bien el manantial abastecía a todos era necesario que cada pueblo tuviera su propia red pues la distribución del agua era insuficiente. Además, las pugnas sobre su distribución fueron por el uso que se le daba, era prioritario para el consumo humano y para el riego de los terrenos agrícolas. El comité de agua gestionó un cambio y lograron que se hiciera una red para tres comunidades de Zacatepec: EL Mirador, Benito Juárez y Tetelpa. Otra red que quedó para los pueblos de Xoxocotla, San José Vista Hermosa, San Miguel Treinta y Sanita Rosa Treinta. Xoxocotla se movilizó y organizó plantones en la carretera para exigir la solución al problema del agua potable. Desde entonces se ha presentado de manera cíclica acciones directas, las cuales tuvieron un clímax en 2007, cuando tomaron carretera y realizaron plantones, logrando detener parcialmente el proceso de urbanización en la parte próxima al manantial.

De esta manera, los problemas del agua de un número importante de localidades han dejado de ser de tipo estrictamente tecnológico de acceso al agua, sino se involucra también uno de gobernanza del agua, en donde no quedan claramente las responsabilidades de las organizaciones comunitarias ni tampoco las responsabilidades federales y estatales en el ordenamiento de derechos y distribución del agua para los actores locales.

Otro conflicto han sido los generados por la contaminación de cuerpos de agua, en la cuenca media y baja, en donde son tres módulos de riego los receptores. Los daños producidos por el uso de aguas contaminadas para el riego de hortalizas pertenecientes a productores de la Unión de Ejidos Plan de Ayala datan, desde 1989, aunque se conoce que ya antes se percibían problemas de contaminación entre cultivos de arroz y caña, en este último por la aparición de una plaga llamada látigo negro. El agua utilizada, proveniente principalmente de la zona industrial de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (Sparza & González Martínez, 1997, pág. 38).



**Figura 2** Proceso de urbanización en el Módulo Alto Apatlaco del DR 018

Fuente: elaboración propia, con base en cartografía del DR018 Estado de Morelos e imágenes GoogleEarth.

Los problemas más evidentes de contaminación en los campos de cultivo eran los generados por las aguas provenientes de la fábrica Textiles de Morelos, que descargaban aguas “coloreadas”, y de la fábrica de papel PACSA, la cual procesaba celulosa. En particular, las aguas vertidas por esta fábrica dejaban sobre los campos de cultivo una capa blanca, “como de cartón (Sparza y González, 1997: 38).

Un efecto a mediano plazo es la conversión de la cuenca del río Apatlaco en una cuenca urbana, esto es, que el proceso de urbanización difusa, de baja densidad urbana, ha generado ya una gran superficie impermeable en la parte central, afectando con esto los procesos de infiltración y depuración natural del agua. También este proceso de urbanización difusa genera un cambio en el uso del suelo bajo distintas modalidades, las cuales llevan a la fragmentación de los sistemas de riego, teniendo esto un proceso sucesivo de actividades económicas que se dejan ver en el paisaje, y en la transformación de las relaciones urbano-rurales en un espacio periurbano.

## 5 CONCLUSIONES

La situación actual de la cuenca del Balsas refleja ya la situación de muchas regiones hidrológicas del país: ya no existe disponibilidad natural de agua que repartir para nuevos usuarios. En los hechos está ocurriendo un proceso de redistribución del agua, sea a través del constante crecimiento urbano-industrial que demanda más agua que, aunque relativamente pequeña tiene un impacto muy grande sobre la actual distribución del recurso.

Toda la cuenca alta del Balsas se encuentra en la búsqueda de nuevas formas de aprovechamiento del agua, pero irremediablemente están recurriendo a las soluciones convencionales de traer agua de cada vez más lejos, posponiendo la crisis de disponibilidad por agotamiento de los recursos relativamente fijos como son los acuíferos.

En el caso de la cuenca del río Apatlaco es posible observar a esa escala las acciones de distintos tipos de actores, formas de organización y de acceso al recurso. En Morelos, como en otras partes del país, las ciudades se enfrentan con su periferia por el reparto de sus disponibilidades de agua, por las externalidades que generan las ciudades en sus descargas y afectaciones. Las formas comunitarias de manejo del agua se enfrentan al arreglo institucional. Se vuelven antisistémicos y aparecen como subversivos sus discursos respecto al respecto a la naturaleza en tanto su conservación se enfrenta con las fuerzas demográficas y económicas estructurales que transforman y se apropian del paisaje. En estos conflictos se evidencia la dinámica social en torno a la redistribución del agua en las cuencas cerradas.

## REFERENCIAS

- Comisión Nacional del Agua, 2003, *Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Región Balsas*. Comisión Nacional del Agua.- México: CNA.
- Conagua, 2011. *Agenda del Agua 2030*. México.
- Conagua-IMTA, 2008. *La cuenca del río Apatlaco. Recuperemos el patrimonio ambiental de los morelenses* Recuperemos. Jiutepec, Morelos.
- Conagua-IMTA -Gobierno del Estado de Morelos, 2008. *Programa Hidrico Estatal de Morelos Visión 2030*. Jiutepec, Morelos.
- Cotler Ávalos, H. 2010. *Las Cuencas Hidrográficas de México Diagnóstico y Priorización*. México: INE.
- García B., R. 1994, "Conceptos Básicos para el Estudio de Sistemas Complejos", en J. M. Montes, E. Leff, R. García B., G. et al, *Los Problemas del Conocimiento y la Perspectiva Ambiental del Desarrollo*. México: Siglo XXI.
- Garrido, A., Pérez Damián, J. L., & Enriquez Guadarrama, C. (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. En H. Cotler Ávalos, *Las Cuencas hidrográficas de México Diagnóstico y Priorización*. México: INE.
- IMTA-Fundación Gonzalo Río Arronte, 2007. *Plan estratégico para la recuperación ambiental de la cuenca del río Apatlaco*. Jiutepec, Morelos.
- Keller, J., Keller, A., y G. Davids, 1998, "River Basin Development Phases and Implications of Closure." *Journal of Applied Irrigation Science*, 33, No. 2, 1998:145-163.
- Sparza, O., & González Martínez, A. (1997). *¡Luchemos por Agua Limpia para la Agricultura! El conflicto por la calidad y la distribución del agua en la cuenca del río Apatlaco, Morelos*. México: Semarnap/Cecadesu-PNUD.

# APROPIACIÓN TERRITORIAL Y RECURSOS HÍDRICOS: ¿INFRAESTRUCTURA O INSTITUCIONES? EL CASO DE DOS CUENCAS RURALES SEMIÁRIDAS.

Oscar SALVATORE<sup>a</sup>, Ana BURGOS<sup>a</sup> y Joaquín SOSA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), UNAM.  
[salvatore@unam.mx](mailto:salvatore@unam.mx), [aburgos@ciga.unam.mx](mailto:aburgos@ciga.unam.mx).

<sup>b</sup>Universidad Autónoma de Aguascalientes, [jsosar@correo.uaa.mx](mailto:jsosar@correo.uaa.mx)

## RESUMEN

El agua es un recurso de uso común, socialmente apropiado dentro de un territorio generalmente compartido. El estudio de los procesos sociales de apropiación territorial permite identificar el modo en que los grupos sociales establecen control y dominio espacial para usar y explotar sus recursos. Para los recursos hídricos, el modo de control puede estar sustentado en la infraestructura hidráulica o en la fortaleza de instituciones locales, sean estas formales o informales. El objetivo de esta investigación fue determinar cómo se apropian de los recursos hídricos los actores sociales de dos cuencas rurales semiáridas en Aguascalientes y Michoacán y reconocer el grado de incidencia en dicha apropiación de la infraestructura y la organización comunitaria. Mediante metodología mixta (técnicas cuantitativas, semi-cuantitativas y cualitativas) se analizó la configuración territorial, la dinámica demográfica determinante de la oferta y demanda de agua, las actividades productivas, los modos de acceso (infraestructura hidráulica), las características físicas de las cuencas y recursos hídricos (distribución espacial y temporal, calidad y cantidad). Los resultados mostraron diferencias en la configuración territorial en relación al modo en que los actores locales aprovechan y usan las fuentes de agua, así como en la incidencia de la infraestructura e instituciones en dicha apropiación. En Aguascalientes, se encontró una alta disponibilidad de infraestructura para extracción y distribución de agua y una alta atención del sector gubernamental, pero una escasa cooperación entre actores claves, que conlleva un mal aprovechamiento de la infraestructura y un mínimo interés por la sostenibilidad del recurso. Por el contrario, en Michoacán, la escasa atención del sector gubernamental se reflejó en la escasa y obsoleta infraestructura, pero las unidades agrarias mostraron enorme capacidad de organización local para gestionar y solucionar problemas a fin de garantizarse un cierto grado de seguridad hídrica.

Sin embargo, en ambas cuencas los pobladores aparecen como rehenes de las condiciones climáticas. En Aguascalientes, su vulnerabilidad radica en la debilidad de sus instituciones locales y un alto desperdicio del recurso debido al mal manejo de la infraestructura. En Michoacán la falta de infraestructura imposibilita tener acceso a los recursos hídricos disponibles, limitando su desarrollo local.

**Palabras clave:** Recursos hídricos, apropiación territorial, actores sociales, cuencas hidrográficas.

## 1 INTRODUCCIÓN

El agua es considerado un recurso de uso común, socialmente apropiado dentro de un territorio compartido (Ostrom *et al.*, 2003), por lo tanto el territorio debe ser entendido como el producto de una acción colectiva, que se personifica en sus instituciones sociales y que produce normas sociales, económicas o políticas, es decir un campo de acción en donde los conflictos, las negociaciones, la cooperación formal o

informal forman un contexto complejo (Mazurek, 2006).

El ser humano, agrupado en sociedad, es un agente transformador de la superficie terrestre, su accionar la modifica en función de las necesidades e intereses que los grupos humanos manifiestan. Estas transformaciones se deben a procesos agrícolas, urbanos, industriales, de transporte, comerciales, políticos, sociales, culturales, conflictos bélicos, de la vida diaria; así todo cambio social es reflejado directamente en el espacio; esto denota que cuando un espacio es apropiado, se construye el territorio (Santos, 2000). El territorio responde a las necesidades de subsistencia de los grupos al constituirse en un ámbito de negociación cotidiana (Hoffman y Salmerón, 1997), es aquí que puede decirse, que la configuración territorial, también es un hecho político, fruto del ejercicio e impugnación del poder, lo que determinará la forma y los procesos de la apropiación de los recursos existentes en el territorio, para esta investigación en particular los recursos hídricos.

El estudio de la apropiación resulta en la delimitación del territorio, ya sea en forma de fronteras o de percepción (afectación de recursos o infraestructuras, tenencia de la tierra, instrumentos de control, etc.) y de sus formas de organización (individual, colectiva, relación de poder, jerárquica, etc.).

De esta manera la apropiación territorial es el conjunto de acciones por el cual una sociedad o un grupo social establece control y dominio de una porción de espacio para hacerla suya, con el propósito de usar y explotar sus recursos, definiendo formas de acceso a ellos y organizando actividades económicas las cuales les permitan satisfacer sus necesidades (Weber y Revéret, 2006). Es un proceso continuo, gradual y permanente, donde un grupo social hace uso de un espacio geográfico determinado y mediante el cual una porción del espacio pasa a ser una compleja propiedad comunal derivada de un mecanismo de producción social. La apropiación territorial permite identificar los actores y las relaciones sociales que establecen entre sí para regular la organización del territorio a diferentes escalas (local, comunitaria, regional, estatal, nacional) y su articulación global. De esta forma, los procesos de decisión orientan la trayectoria de los modos de apropiación, definen su dinámica y traducen las capacidades adaptativas a las formas de apropiación frente a un ambiente natural, económico, social e institucional en continuo cambio. De igual forma la apropiación territorial está influenciada por las características del propio territorio y los recursos que contiene (distribución espacio-temporal, calidad y cantidad) y por su dinámica demográfica, la cual determina la abundancia o carencia de un recurso en relación a la población local o a los modos de acceso.

Comprender y controlar las alteraciones que amenazan al recurso hídrico es un reto científico extremadamente complejo que requiere del análisis integrado de factores biofísicos y sociales. El estudio del manejo de los recursos naturales desde un contexto de apropiación territorial ofrece una perspectiva que permite integrar procesos ecológicos, complejidad espacial a diferentes escala y las relaciones entre sus habitantes con los recursos hídricos de su territorio. Es por ello que son necesarios los estudios que tomen en cuenta el aspecto sociocultural, el político institucional y las dimensiones ecológicas en el cambio y su complejidad, con este enfoque será más factible establecer los procesos de la población local en la apropiación de los recursos hídricos. En condiciones de escasez de agua, este conocimiento integrado desde una visión geográfica, es vital para comprender los procesos físicos involucrados y las medidas sociales necesarias para adaptarse a ellos (WWDR-3, 2009), como es el caso en zonas semiáridas, en donde se tiene una gran variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones y el acceso a las diferentes fuentes de abastecimiento no necesariamente están al alcance de los grupos sociales que allí radican, esto debido a su limitada organización social y la carencia de recursos para adecuar la infraestructura hidráulica requerida según las condiciones físicas del territorio.

Es por ello que el objetivo de este trabajo es identificar los procesos y factores que determinan la apropiación

de los recursos hídricos al interior de dos cuencas semiáridas de México.

El análisis geográfico de los recursos hídricos plantea bastante complejidad por la gran diversidad de factores físico-ecológicos, históricos, económicos, sociales, técnicos y administrativos que inciden en los diferentes usos y en la propia disponibilidad natural del recurso.

La dificultad se extiende también a la hora de articular discursos científicos con manejo de conceptos precisos, para explicar la escasez de agua como un hecho geográfico que integra una dimensión humana y otra natural en íntima e indisociable relación ecoevolutiva (Amorós, 2008). Estos procesos aunque están íntimamente relacionados no son sinónimos, la sequía y escasez no remiten a un mismo tipo de proceso, pero pueden confluir; un periodo prolongado de sequía puede intervenir en el desarrollo de una situación de escasez, porque implica la disminución de agua disponible en un territorio; no obstante, la escasez no resulta de condiciones climatológicas, sino de los modos en que se usa y distribuye el agua en un contexto determinado.

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1. ÁREA DE ESTUDIO**

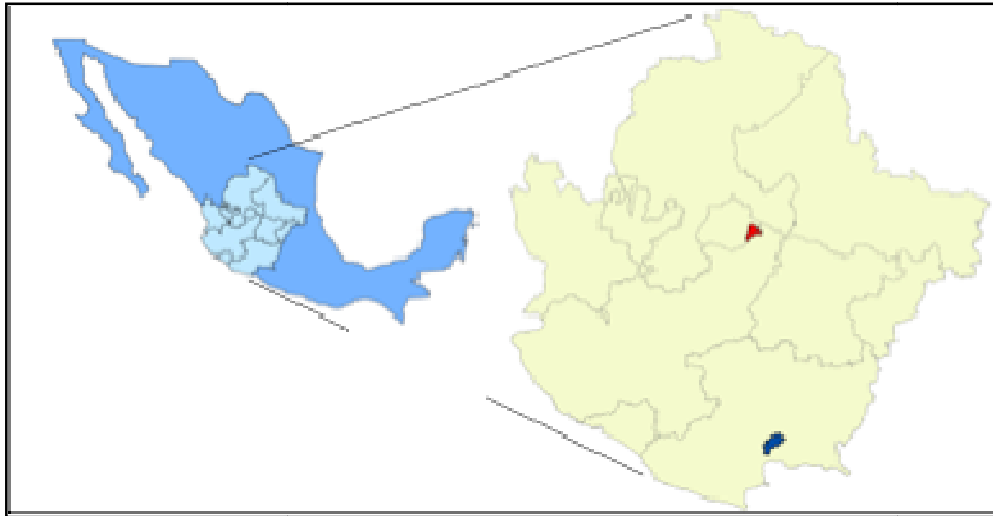
El trabajo se llevó a cabo en dos cuencas hidrográficas ubicadas en los Estados de Aguascalientes y Michoacán, dentro de la Región Centro Occidente del país (Cuenca del Arroyo Juan el Grande y la Cuenca del Arroyo San Pedro Jorullo, respectivamente) (Figura 1). Ambas cuencas se tipifican como rurales debido a la baja densidad de población, la casi inexistencia de asentamientos humanos mayores a los cinco mil habitantes, así como a que las actividades productivas que predominan son las primarias; la mayoría de las localidades comprendidas al interior de las cuencas presentan un grado medio a alto de marginación. Sus características morfohidrométricas hablan de cuencas jóvenes con alto potencial erosivo, con una densidad de drenaje pobre, una relación de bifurcación que no se cumple y un orden de cauce de 5 y 6º respectivamente. Ambas comparten como rasgo común un balance hídrico con un alto déficit de precipitaciones, largas estaciones de sequía, y la mayor parte de su superficie presenta suelos con baja capacidad de campo, escasamente permeables; muy susceptibles a los efectos de escurrimientos post precipitaciones (Cuadro. 1)

### **2.2. MÉTODOS MIXTOS**

Para esta investigación el agua se considera como un recurso social, y dada la complejidad de su problemática se emplearon datos cuantitativos obtenidos de fuentes oficiales y datos cualitativos, producto del trabajo realizado en campo y entrevistas, de esta forma fue posible obtener la información de la manera en que son apropiados los recursos hídricos por estos grupos sociales.

#### **2.2.1. ANÁLISIS CUANTITATIVO**

La información de pozos, bordos y todo tipo de infraestructura hidráulica al interior de ambas cuencas fue procesada en un sistema de información geográfica (Arc-View 9.3) y correlacionada con datos demográficos, físicos y administrativos, obteniendo diversos mapas de los recursos hídricos. Para determinar la variabilidad



**Figura 1.** Localización de las cuencas de estudio dentro de la Región Centro Occidente de México.

temporal y espacial de los recursos hídricos se realizó un balance hídrico climático y un análisis climático base. Finalmente para la demanda hídrica se realizaron entrevistas a actores claves y con base en datos oficiales de los distintos usos del agua se determinó la demanda actual.

### **2.2.2. ANÁLISIS CUALITATIVO**

Para diagnosticar la problemática de la oferta y la demanda hídrica y la configuración territorial al nivel de cuenca se recurrió al uso de entrevistas a profundidad con preguntas semiestructuradas a distintos actores clave - tanto de gobierno como gente local - de igual forma se llevó a cabo una revisión de documentos oficiales y no oficiales de diferentes agencias del gobierno de los tres niveles.

## **3 RESULTADOS**

### **3.1. OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA**

En la cuenca del Arroyo Juan El Grande se tiene a manera general una oferta de más de 14 Mm<sup>3</sup>/año, esta oferta está dada principalmente por la capacidad en infraestructura, básicamente sustentada en bordos, canales y pozos profundos (Figura 2). Hay una disponibilidad de tres a cuatro meses promedio en los cuerpos superficiales, hay ejidatarios que tienen en un buen ciclo de lluvias agua suficiente para ganado para que este soporte el estiaje. Aguascalientes es considerado como uno de los estados con mayor número de bordos, se contabilizaron 676 a nivel de la cuenca. Las comunidades de la cuenca Juan El Grande al igual que en todo el estado cubren sus necesidades de agua empleando pozos profundos para bombearlas desde el acuífero del Valle del Llano, llegando a representar regularmente entre un 70 a 80% del total de agua empleada. La

mayoría de los pozos operan a una profundidad de entre los 200 y 350 m, sin embargo, hay algunos superando los 500 m. En cuanto a su variabilidad espacial sin tomar en cuenta el bordo de Santa Ana, no se reportan diferencias a nivel de toda la cuenca, y en promedio cada ejidatario tiene de uno a dos bordos en sus predios, lo que determina poca variabilidad espacial del recurso, no obstante la información de la morfohidrometría, nos dice que al tratarse de una cuenca joven, dado por su forma alargada, su orden de nivel seis, y su gran cantidad de arroyos de primer orden se trata de una cuenca que a pesar de no tener una gran pendiente, cuando llegan a presentarse escurrimientos, estos tienden a salir de la cuenca de forma rápida, el tipo de suelo nos manifiesta que se tratan de suelos someros que entre sus características físicas es la de una baja capacidad de campo, por lo que la infiltración de agua al acuífero se da únicamente con precipitaciones de buena magnitud en intensidad y duración, sin embargo, el balance hídrico climático manifiesta el continuo estado de estrés hídrico, dado por el déficit de humedad y la poca precipitación, los registros históricos de precipitación no advierten sobre algún patrón en el régimen de lluvia. En la cuenca de Aguascalientes tenemos una demanda de agua para consumo humano de 400 – 450 lt/persona/día, esta demanda solo se satisface con agua de pozos, según fuentes oficiales, la demanda supera en un 300% al volumen concesionado (Cuadro 2).

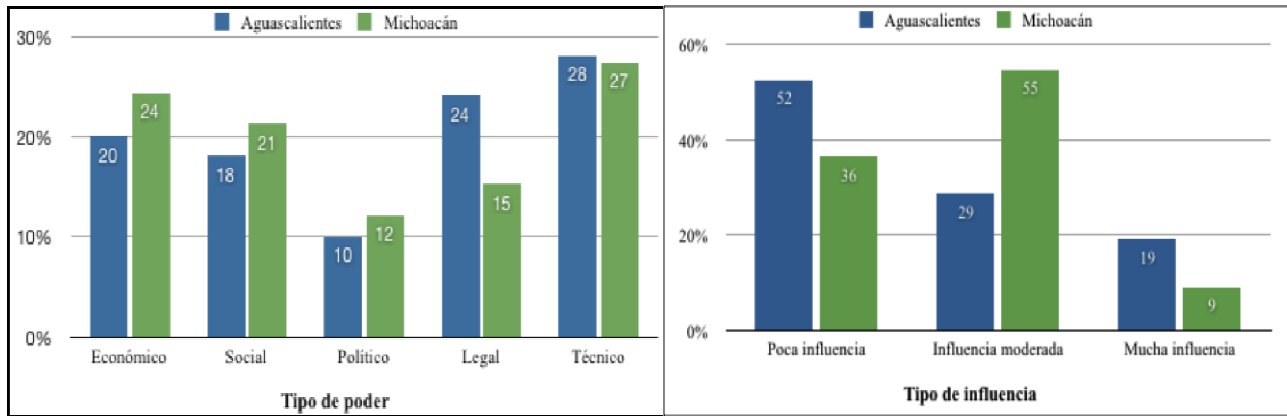
En este mismo marco en la cuenca del Arroyo San Pedro Jorullo, la oferta hídrica está dada por los escurrimientos en una parte del año y por los manantiales y norias de donde la gente se abastece. La cuenca de Michoacán únicamente tiene un pozo a 150 m de profundidad, pero al día de hoy este aún no entra en operación. La variabilidad espacial es más contrastante en esta cuenca, mientras la parte media de la cuenca tiene agua disponible durante todo el año, debido a la presencia de sus manantiales, la parte alta de la tiene únicamente oferta de los escurrimientos en temporada de lluvias y el resto del ciclo se abastecen de manantiales, los cuales tienen poco volumen por lo que requieren de infraestructura como tanques de almacenamiento y redes de distribución, las cuales además presentan una tercera parte de pérdidas. La parte baja de la cuenca una vez pasado las lluvias deja de tener oferta directa del río y se ven en la necesidad de abastecerse mediante norias a unos seis a nueve metros de profundidad, en el margen del río, esta agua es cuestionable en su calidad para consumo humano, y en la desembocadura de la cuenca, la oferta esta dada por norias y el embalse de la presa el infiernillo. En cuanto a la variabilidad temporal, únicamente en temporada de lluvias se tiene oferta hídrica de los escurrimientos, que si bien se trata de un río con un afluente considerable las características morfohidrométricas de la cuenca le confieren una gran fuerza en su descenso, con mucho poder erosivo, incluso dejando incomunicadas a algunas comunidades en algunos eventos, lo que hace que el agua salga por escurrimientos muy rápido de la cuenca, y nuevamente debido a la poca capacidad de campo de sus suelos, los escurrimientos ocurren con los primeros eventos de precipitación. El registro histórico de la precipitación no muestra algún patrón, sin embargo, al encontrarse directamente en la vertiente del pacífico esta región esta más expuesta a fenómenos climáticos como tormentas tropicales o huracanes. Su balance hídrico climático muestra que pese a esta ubicación, se encuentra en un déficit continuo de humedad, por lo que los escurrimientos que año con año se tienen son básicamente por la gran pendiente que presenta, el tipo de suelo con una capacidad de campo muy baja y por la forma tanto del terreno como de la red hídrica. La demanda de agua para consumo humano es de 50 – 150 lt/persona/día en la mayoría de las comunidades.

### **3.2. CONFIGURACIÓN TERRITORIAL**

En la Cuenca del Arroyo Juan El grande, se identificaron 21 actores claves en la apropiación de los recursos hídricos, por su parte en la Cuenca del Arroyo San Pedro Jorullo, fueron once (Cuadro 3), se trata de casi la

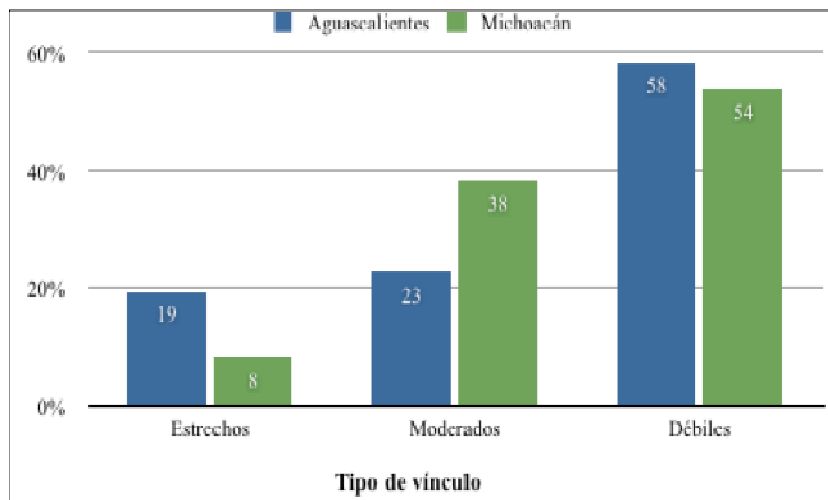


mitad de los registrados en Aguascalientes, lo que nuevamente pone en evidencia el grado de aislamiento en que se encuentran los habitantes de esta cuenca. Las tipificación del tipo de poder e influencia de cada actor son representadas en la figura 3.



**Figura 3.** Tipo de poder e influencia de los actores sociales con respecto a la gestión de los recursos hídricos.

El tipo de vínculos que se establecen entre los actores de ambas cuencas son débiles (Cuadro 4), lo que directamente va a repercutir en las condiciones de las distintas formas de apropiarse de los recursos hídricos; en otras palabras no hay un interés colectivo con respecto al agua (Figura 4). Esto a pesar de disponerse de los espacios y mecanismos para discutir los problemas que afectan de manera comunitaria el manejo de sus recursos hídricos, es más evidente la falta de organización en la cuenca de Aguascalientes, en este sentido la cuenca de Michoacán tiene una gran capacidad de gestionar y resolver conflictos a través de sus instituciones locales.



**Figura 4.** Tipo de vínculos entre actores sociales

## 5 DISCUSIÓN

Los resultados nos permiten ver que en ambas cuencas existe un pobre manejo de los recursos hídricos, lo que ya representa un gran lastre para el desarrollo local, regional y nacional que se traduce en un empobrecimiento de la calidad de vida local (Biswas, 2012). En ambas cuencas se tienen fuentes de abastecimiento superficiales y subterráneas, sin embargo, el acceso dado por la infraestructura nos deja ver dos esquemas de aprovechamiento completamente diferentes. En la cuenca de Aguascalientes tenemos una gran cantidad de bordos empleados con el mismo propósito que otras regiones semiáridas en el mundo (Tsakiris, 1991) por una parte para captar agua de lluvia para que se infiltre y así brindar humedad a la zona de raíces de cierta zona de cultivos, y por otra parte para abastecer con un par de riegos a las cosechas, el ganado sale beneficiado ya que muchos ejidatarios tienen a sus animales en las mismas zonas de cultivo y solo son removidos al momento de comenzar el ciclo de cosechas. Sin embargo esta cuenca sustenta toda su sobrevivencia y gran parte de su economía en agua del acuífero. Esta fuente abastece de agua potable a más del 95% de las viviendas de toda la cuenca; un valor muy superior incluso al de otros países desarrollados (Biswas, 1997). El monitoreo del agua del acuífero es mínimo, en consecuencia, los agricultores suelen bombear más agua subterránea de la que necesitan para optimizar la producción de sus cosechas, producto en su mayoría de prácticas incorrectas o inapropiadas por motivos sociales, económicos y políticos (Biswas y Tortajada, 2009). Esto ha ocasionado en esta cuenca lo reportado por Navarro de León (2005) una desvaloración del agua subterránea como un bien de propiedad común, lo que impide el manejo sustentable del recurso ya que actualmente tenemos que los beneficios de la extracción son individuales y los problemas generados por la sobreexplotación son colectivos. El volumen concesionado en la cuenca de Aguascalientes para uso doméstico no cubre la demanda mínima, por lo que la institución encargada de este servicio en el municipio, se ve obligada a extraer 200% más de lo permitido por la ley, llegando a tener una oferta de entre los 300 y 400 l/hab/día, una cifra muy por encima de los 50 l/hab/día considerados como el volumen diario básico por habitante en regiones con características de déficit continuo de agua (Still 2001; Mutiga, 2010 y Gleick, 1996). La relación oferta/demanda, se ha tratado de resolver de forma tradicional (Martínez Vidal, 2001), aumentando el volumen del recurso y dejando de lado cuestiones que afectan al consumo (ahorro, disminución de pérdidas, mejora de redes de distribución y sistemas de canalización, política de precios). Y de acuerdo al trabajo de Madrigal *et al.*, (2011) una posición paternalista del abastecimiento de agua a la población lejos de beneficiar, termina por crear una falta de pertenencia comunitaria que repercute en este caso en miles de litros desperdiciados. Esto origina conductas de demanda con pocas restricciones incrementando el problema de escasez que en este caso no tiene que ver con su abastecimiento u oferta.

Con respecto a la cuenca de Michoacán los problemas relacionados con el agua no tienen que ver con la disponibilidad física del recurso, sino con una carencia casi total de infraestructura y la existente es obsoleta o deteriorada, dando lugar a sistemas de agua ineficientes. La poca agua que se infiltra y fluye en el nivel subsuperficial permite el abastecimiento de parte de las necesidades básicas de la población y pese a que esta agua en su gran mayoría no la destinan al consumo humano, si les permite sobrellevarla en las actividades en que esta es requerida al interior de los hogares en donde es almacenada en las pilas domésticas, la poca infraestructura hídrica, condiciona el acceso al agua del acuífero y determina que las actividades productivas se restrinjan a aquellas de temporal y que no se establezcan actividades agropecuarias estabuladas. El aislamiento geográfico así como el nulo apoyo de las instituciones de gobierno son los factores determinantes en el acceso al recurso y no así la disponibilidad física del mismo (Pinilla Herrera, 2007). La demanda para uso doméstico (36 a 100 l/persona/día) se asemeja más a la que encontramos en ciertas zonas rurales de Sudáfrica (25 a 50 l/persona/día) (Still, 2001), que a la de Aguascalientes. Se trata de una cuenca que se encuentra como rehén de

la hidrología como lo denominan (Grey y Sadoff, 2007).

Los resultados nos muestran en la cuenca de Aguascalientes, prácticamente el doble de actores en la toma de decisiones con respecto a los recursos hídricos que los registrados en Michoacán, sin embargo sus redes de vínculos nos muestran la falta de coordinación entre los diferentes niveles de gobierno, la ausencia de integración entre instituciones y la participación ciudadana de actores locales rurales, lo que tiene como consecuencia que no exista un manejo adecuado de los recursos hídricos en ambas cuencas. Por ejemplo, el problema de falta de agua en las poblaciones rurales en la cuenca de Michoacán radica en que a pesar de que existe participación social para tomar acuerdos, el nulo involucramiento por parte de cualquier instancia gubernamental, da por resultado que las leyes establecidas en estas localidades no se apliquen. La toma de decisiones para la gestión de los recursos hídricos se sigue concentrando en las instancias de gobierno y como lo muestra el trabajo de Bermúdez (2010), en un sistema de poder altamente jerarquizado, la creación y el uso de los mediadores de poder están concentrados en aquellos niveles que centralizan el poder, y las posibilidades de negociación de los niveles inferiores son pocas o nulas. Esto concuerda con lo encontrado en este trabajo. De allí la importancia de el capital social con que se cuenta en la cuenca de Michoacán pues las comunidades tienen elevada autoestima y su autonomía es cada vez mayor, lo que les permite que valoricen su lugar en la organización del Estado e incorporen en sus vidas cotidianas las actividades políticas, las cuales se traducen en acciones más responsables y mejor planeadas con respecto a sus recursos hídricos.

Los distintos actores a los diferentes niveles en ambas cuencas satisfacen sus necesidades sin tener una visión de cuenca y planeación integral, por lo que está en riesgo el acceso al agua para el futuro (Guerrero De León, 2010). Posiblemente el que los actores sociales a nivel local en el caso de la cuenca de Aguascalientes no se involucren en el proceso de gestión del agua, pueda deberse a lo descrito por Córdova (2006), una comunicación vecinal inexistente, una mala opinión sobre los organismos operadores y la calidad y el servicio de agua, que junto con otros factores como una mala educación, ingresos bajos, tiempo de residencia, actividades económicas, etcétera, conforman su percepción negativa en cuanto a constituirse como una comunidad participativa con interés en los asuntos públicos. De esta forma podemos hablar de que la escasez percibida en esta cuenca no es una condición natural sino una construcción social, resultante de acciones incorrectas de carácter social. Esto ha propiciado que la población no tenga confianza en las acciones emprendidas por las autoridades estatales (Escamilla, 2003).

El problema del agua en la cuenca de Aguascalientes radica en la descoordinación entre las autoridades; es decir, no existe la visión de los recursos hídricos dentro de un territorio, lo que ocasiona que el aspecto social y el ambiental están totalmente desarticulados. No existen criterios uniformes y la disparidad con que se realizan estas tareas no obedece a la diversidad regional, sino más bien a falta de criterios claros. Estamos de acuerdo con lo mencionado por (Stein et al., 2011), en que en lugar de imponer un arreglo institucional generalmente de orden federal en la gestión de los recursos hídricos a nivel local, sería más beneficioso identificar y reconstruir las estructuras locales existentes, como lo demuestra lo encontrado en la cuenca de Michoacán, dando pie a una verdadera gestión de los recursos hídricos de su territorio a nivel de cuenca.

## **6 CONCLUSIONES**

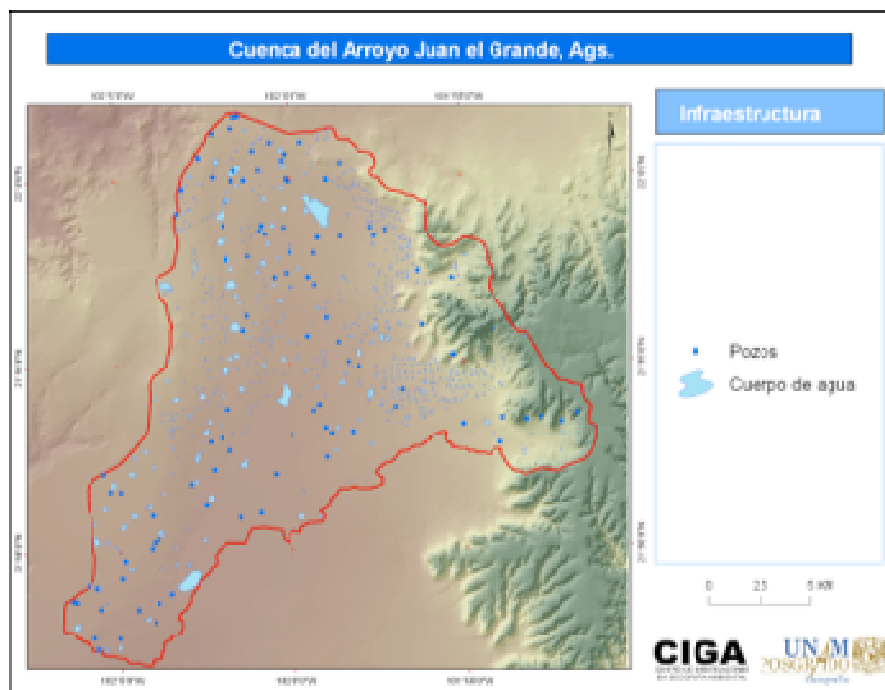
La cuenca de Aguascalientes nos muestra como a pesar de combatir la escasez física de agua a golpe de obras hidráulicas de oferta, se observa que se ha acentuado la escasez socialmente provocada y que, lejos de corregirse los desequilibrios territoriales, éstos se han agravado.

Por su parte la cuenca de Michoacán nos muestra un camino recorrido que si bien no ha sido sencillo y ha requerido de mucha energía se pueden apreciar sus resultados y que radican en la reconstrucción de las relaciones entre los diferentes actores y el empoderamiento de los pobladores locales que se ha traducido en un manejo de muy adecuado de sus recursos hídricos al interior de sus territorios y con consideraciones geoespaciales a nivel de cuenca, en donde no solo lo han logrado sin participación de las autoridades de gobierno, sino que son ahora estas instituciones no formales las que están decidiendo el futuro de los recursos hídricos.

## 7 APÉNDICES

**Cuadro 1.** Características de las cuencas de estudio

<b>Parámetro</b>	<b>Cuenca del A. Juan El Grande</b>	<b>Cuenca del A. San Pedro Jorullo</b>
Superficie (km <sup>2</sup> )	342.8	459.7
Población total (INEGI, 2010)	15,535	6,682
Densidad de población (hab/Km <sup>2</sup> )	45	14.5
Actividades predominantes	servicios , agricultura temporal y ganadería extensiva	agricultura temporal, ganadería extensiva y pesca
Tipo de clima (García, 1973)	BS1kw	BS1(h´)w
Precipitación total (mm)	526.1	626.5
Temperatura media (°C)	17.3	28.5
Déficit hídrico anual (mm)	1,390	2,167
Tipo de suelo	planosoles y xerosoles	litosol y feozem háplico



**Figura 2.** Infraestructura hidráulica en la cuenca de Aguascalientes

**Cuadro 2.** Oferta y demanda hídrica

Parámetros	Cuencas de estudio	
	Aguascalientes	Michoacán
Cuerpos de agua superficiales	676	-
Cuerpos de agua, área (km <sup>2</sup> )	4.07	0.3
Cuerpos de agua, volumen (m <sup>3</sup> )	10,140,000	600
Disponibilidad de agua en cuerpos superficiales (meses)	5	2
Norias y manantiales	17	47
Extracción, (m <sup>3</sup> /año)	0	84,862
Pozos	42	1
Extracción, (m <sup>3</sup> /año)	3,951,489	0
Disponibilidad de agua neta (m <sup>3</sup> /año)	14,091,489	-
Demanda de agua por hab, CNA (m <sup>3</sup> /hab/año)**	1,352,982	309,666
Pozos	42	1
Extracción, (m <sup>3</sup> /año)	3,951,489	-
Extracción uso publico urbano (m <sup>3</sup> /año)	480,760	-
Cubierta (Ha): Cultivos	8,220	3,974
Pastizal	803	1,756
Usos del suelo: Agrícola temp. (Ha)	8,218	3,974
Agrícola riego	-	-
Ganadería	805	1,756

\*\*400 l/hab/día en Aguascalientes y 200 l/hab/día en Michoacán

**Cuadro 3.** Matriz de actores sociales. Cuenca de Michoacán.

Actores	Poder					Influencia		
	Económico	Social	Político	Legal	Técnico	Poca influencia	Influencia moderada	Mucha influencia
1. CONANP (reserva de la biosfera)	X	X		X	X		X	
2. CNA	X	X	X	X	X			X
3. SAGARPA	X		X		X		X	
4. SEDESOL	X	X			X	X		
5. SEDRU	X		X		X	X		
6. SUMA				X	X	X		
7. PRESIDENCIA MUNICIPAL	X	X	X	X	X		X	
8. OBRAS PUBLICAS	X					X		
9. COMITÉ DEL AGUA		X			X		X	
10. REPRESENTANTES EJIDALES		X		X			X	
11. GRUPO BALSAS	X	X			X		X	

**Cuadro 4.** Matriz de vínculos entre actores sociales. Cuenca de Michoacán.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	2	2	2	2	2	1	3	3	2	2
2	2	-	2	2	3	3	3	3	3	3	3
3	3	2	-	2	3	3	3	3	3	3	3
4	3	2	2	-	3	3	3	3	3	3	3
5	2	2	2	2	-	2	2	3	3	3	3
6	1	2	2	2	2	-	2	3	3	3	3
7	2	2	2	2	2	2	-	2	3	2	3
8	3	3	3	3	2	2	1	-	3	3	3
9	3	3	3	3	3	3	2	3	-	1	1
10	3	3	3	3	3	3	2	2	1	-	1
11	2	3	3	3	2	2	2	3	1	1	-

Valores de relaciones:

1. Vínculos estrechos relacionados con intercambio de información, frecuencia de contactos y coincidencia de intereses
2. Vínculos moderados, flujo de información generalmente unidireccional
3. Vínculos débiles o informales

## 8 REFERENCIAS

- Amorós, A. M. R., y Hernández, M. H., 2008. Ordenación del territorio, escasez de recursos hídricos, competencia de usos e intensificación de las demandas urbano-turísticas en la comunidad valenciana. *Documents D'anàlisi Geogràfica*, (51), 79-109
- Bermúdez, O. B., 2010. Agua, territorio y gestión: Caminos por recorrer. *Perspectiva Geográfica: Revista Del Programa De Estudios De Posgrado En Geografía*, 15(1), 125-142
- Biswas, A. K., 1997. Water development and the environment. *International Journal of Water Resources Development*, 13(2), 141-168
- Biswas, A. K., 2012. Securing the world's water future. *Global-is-Asian*, 14, 15-16
- Biswas, A. K., y Tortajada, C., 2009. Changing global water management landscape. *Water Management in 2020 and Beyond*, 1-34
- Córdova Bojórquez, G., Aguilar, R., de Lourdes, M., & Peña Medina, S., 2006. Participación ciudadana y gestión del agua en el valle de Juárez, Chihuahua. *Región Y Sociedad*, 18(35), 75-105
- Escamilla, M., Kurtycz, A., y Van Der Helm, R., 2003. Water participation for poverty alleviation--the case of meseta purépecha, Mexico. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 47(6), 145
- Gleick, P. H., 1996. Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International*, 21(2), 83-92
- Grey, D., y Sadoff, C. W., 2007. Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), 545-571
- Guerrero-de León, A. A., Gerritsen, P. R., Martínez-Rivera, L. M., Salcido-Ruiz, S., Meza-Rodríguez, D., y Bustos-Santana, H. R., 2010. Gobernanza y participación social en la gestión del agua en la microcuenca el Cangrejo, en el municipio de Atlán de Navarro, Jalisco, México. *Economía, Sociedad Y Territorio*, (33), 541-567
- Hoffman, O. y Salmerón F. (coords.) 1997. Entre representación y apropiación las formas de hablar el espacio. Nueve estudios sobre el espacio. *Representación y formas de apropiación*. CIESAS. México.
- Madrigal, R., Alpizar, F., y Schlüter, A., 2011. Determinants of performance of community-based drinking water organizations. *World Development*, 39(9), 1663-1675.
- Martínez Vidal, J. L., 2001. Gestión de recursos hídricos en regiones semiáridas. In a. Pulido Bosch (Ed.), *Problemática de la gestión del agua en regiones semiáridas* (pp. 89-92).
- Mazurek, H., 2006. *Espacio y Territorio: Instrumentos metodológicos de investigación social*. La Paz: IRD; Fundación, PIEB.
- Mutiga, J. K., Mavengano, S. T., Zhongbo, S., Woldai, T., y Becht, R., 2010. Water allocation as a planning tool to minimize water use conflicts in the upper Ewaso Ng'iro north basin, Kenya. *Water Resources Management*, 24(14), 3939-3959
- Navarro de León, I., 2005. Análisis de estrategias de manejo integral del agua subterránea mediante modelación de flujo: Cuenca de la Independencia, Guanajuato, México. Tesis de doctorado
- Ostrom, E., P. Stern y T. Dietz, 2003. Water rights in the commons. *En Water Resources Impact*. 5 (2), 9-12.
- Pinilla Herrera, M. C., 2007. Gestión y cultura del agua desde la perspectiva del paisaje: Un estudio de caso en la cuenca del río Huámito, la Huacana, Michoacán. Tesis de Maestría, Instituto de Geografía, UNAM

- Santos, M., 2000. La naturaleza del espacio. Ariel. España
- Stein, C., Ernstson, H., y Barron, J., 2011. A social network approach to analyzing water governance: The case of the mkindo catchment, tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(14), 1085-1092
- Still, D., 2001. Free basic water in rural areas: Is it feasible. In WISA CWSS seminar
- Tsakiris, G., 1991. Micro-catchment water harvesting in semi-arid regions: Basic design considerations. *Water Resources Management*, 5(1), 85-92
- Weber, J. y J. P. Revéret, Jean Pierre, 2006. La gestión de las relaciones sociedades naturaleza: modos de apropiación y derechos de propiedad. *Revista Agrícola*, núm. 36, pp. 119- 124.
- WWDR-3, 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World





# GESTIÓN DEL AGUA DESDE LA PERSPECTIVA HISTÓRICA. EL CASO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSÍ 1831-1883

Yuritzi HERNÁNDEZ FUENTES<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Paseo, SLP, SLP., email: [yuryhdz@alumnos.uaslp.edu.mx](mailto:yuryhdz@alumnos.uaslp.edu.mx)

## RESUMEN

La regulación de las relaciones sociales con el aprovechamiento del recurso hídrico fue un aspecto característico de las diversas formas de gobierno; las decisiones y políticas que siguió la administración de éste resultan aspectos clave para entender el estado actual y aprovechamiento del agua. El objetivo del escrito es reconocer la presencia de formas de gestión del agua desde la perspectiva histórica, como un medio para reconocer la problemática actual del recurso. En particular se hace énfasis en el estudio del manejo de fuentes de agua de la ciudad de San Luis Potosí entre 1831 y 1883. Lo que se pretende demostrar es la importancia de la perspectiva histórica para entender parte de las formas de manejo del recurso que repercutieron en el aprovechamiento tradicional que había tenido la sociedad y en el estado de los propios recursos hídricos. El trabajo se divide en tres apartados, en el primero se define y describen algunos elementos ligados a la gestión del agua desde la Historia y la trascendencia de los estudios históricos en materia de agua desde la perspectiva ambiental. En el segundo se describen a grandes rasgos las características y desarrollo histórico de la ciudad de San Luis Potosí en relación con la presencia del agua. Finalmente en el último apartado se analizan los momentos que marcaron la transformación de las fuentes de suministro del vital líquido y la presencia de constantes conflictos por la escasez del recurso. Las reflexiones se dirigen a la discusión sobre un modelo de toma de decisiones sobre el aprovechamiento del agua, que considere una perspectiva diacrónica y sincrónica de las formas de gestión implementadas en la relación sociedad-agua; para reflexionar en el caso de ciudades carentes de un acceso constante como San Luis Potosí.

**Palabras clave:** *Historia ambiental, abastecimiento de agua, San Luis Potosí*

## 1 INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso que condiciona virtualmente toda actividad productiva y principalmente aquellas relacionadas con la producción de alimentos, energía y de la propia vida humana, este carácter de condición de producción lo que obliga a considerar el agua como un bien público, que debe ser administrado por el Estado, como representante del interés general de la sociedad.

Ante este panorama, la ciencia histórica tiene un papel fundamental al reconocer los componentes implicados dentro de la problemática del agua, en relación con la transformación de los sistemas hídricos, producto de la acción del hombre y los cambios ocurridos desde la propia naturaleza, elementos clave para entender el proceso histórico que han seguido las sociedades modernas en su desarrollo y del cual los historiadores deben involucrarse.<sup>1</sup> Desde el siglo XIX hasta la fecha el agua ha sido factor clave para el desarrollo económico e incluso hoy en día forma parte de los índices de calidad de vida para caracterizar grupos sociales y ha sido transformado su manejo en respuesta a las demandas de innovación tecnológica, industrial y confort social.<sup>2</sup>

Al respecto los estudios de caso a nivel local dan cuenta de la diversidad de elementos que han persistido a lo largo del tiempo en relación con el aprovechamiento del agua, principalmente en cuanto al suministro de éste a centros económicos como lo es la ciudad de San Luis Potosí.

## **2 EL AGUA DESDE LA PERSPECTIVA HISTORICA Y AMBIENTAL**

La gestión del agua de la cual se apoya el Estado para un aprovechamiento sostenible del recurso es entendida como aquella que “vincula entre sí los ámbitos natural, social e institucional del desarrollo, para identificar los conflictos inherentes a las relaciones entre ellos, y conducir el proceso hacia metas sostenibles”.<sup>3</sup> No obstante, esta tarea gubernamental ha enfrentado diversos conflictos en esta materia y también se ha generalizado el interés por buscar o preservar el acceso a fuentes de agua, el creciente énfasis en políticas públicas que respondan a suministro eficaz, la prevención y solución de conflictos sociales y ambientales, e incluso políticos, derivados del uso o derechos alrededor del agua.

El papel que posee el Estado ha sido y es fundamental para la regulación de los usos sociales del agua y por lo cual, tal como establece Luis Aboites, los resultados de los estudios del agua “llevan o tienden a cuestionar y a confrontar la noción del poderío del Estado en el manejo de los recursos hidráulicos en el siglo XX”, e incluso se podría reconocerse la debilidad de este actor en este campo, lo que no sólo es aplicable para el siglo XX, sino que es compatible con el contexto que reinó en el siglo XIX.<sup>4</sup>

Junto con el surgimiento del Estado Mexicano existió un interés por centralizar algunas atribuciones sobre el aprovechamiento de recursos que se encontraban anteriormente en manos de corporaciones eclesiásticas y civiles. No obstante, no fue sino hasta mediado del siglo XIX cuando la estabilidad política permitió a las autoridades tanto a nivel local como nacional, ser partícipes de los proyectos para administrar y controlar el uso del recurso hídrico.

La evolución que siguieron las políticas y legislación en materia de aguas impulsadas desde el estado nacional fueron las que determinaron el aprovechamiento de las fuentes tradicionales y la presencia de constantes demandas para la creación de otras nuevas. Tales planteamientos son estudiados desde la perspectiva histórica como parte de la comprensión de la problemática que prevalece en la actualidad, en los estados carentes del recurso constante como es San Luis Potosí.

Los estudios del agua desde la perspectiva histórica buscan entender el presente y forman parte del interés generalizado en torno al agua. En México las investigaciones sobre el agua poseen antecedentes en los escritos que vincularon el recurso a unidades de servicio, vinculados dentro de la historia agraria e historia urbana. Hasta años recientes se pensó en este elemento para “reconstruir las modalidades que adopta ese esfuerzo colectivo que transforma el medio natural de acuerdo con los requerimientos de grupos sociales específicos”;<sup>5</sup> en otras palabras, comenzaron las indagaciones sobre la manera en que se configuró la adaptación de los medios esenciales en la vida humana.

Los estudios de historia ambiental y del agua forman parte las investigaciones que buscan hacer más amplio el conocimiento histórico, plantea nuevos temas de análisis entre los que destacan: sistemas de riego, de abastecimiento del vital líquido y alcantarillado, la gran hidráulica, las ideas o concepciones sociales entorno a la misma, políticas y legislación, cultura del agua, entre otros aspectos relacionados con el vital líquido a lo largo del tiempo.

En recientes fechas se ha valorado la importancia de construir nuevas interpretaciones y considerar aquellas que aún no se han explorado, como podrían ser: los usos del agua en la industria; la historia del agua subterránea y de las presas del siglo XX; “el cambio hidráulico” de este último siglo, que originó los procesos de constitución y

desarrollo económico-social; el impacto del líquido sobre los sectores industrial y urbano; a todo esto podría incorporarse la historia de los desastres naturales provocados por la carencia, falta de disponibilidad o abundancia del recurso.<sup>7</sup>

Las ciudades del norte de México como Zacatecas y Monterrey tuvieron un gran crecimiento poblacional, urbano y per cápita para el siglo XX, que, de no ser por la infraestructura de servicios creada en el siglo XIX, no hubiera sido posible; así, con la construcción de canales, puentes, caminos, drenajes, entubación de agua y otros elementos se buscó atender la creciente demanda de estos centros económicos y se enfatizó la conformación de un paisaje humanizado.

### 3. ORÍGENES DEL PUEBLO DE SAN LUIS

La cuenca hidrológica de San Luis Potosí, en el estado del mismo nombre, está limitada al norte por conjunto de cerros denominados “Alto la Melada”, al poniente y sur por la Sierra de San Miguelito y la sierra de Álvarez al Oriente, por su forma endorreica éstas encierran parcialmente a la planicie del valle de San Luis Potosí. El clima predominante en la región es de tipo templado con Verano cálido-semiárido y cuenta con una precipitación media anual de 402.6 mm.<sup>8</sup> Esta nutre los acuíferos del valle, uno de ellos libre o superior que recoge material aluvial y otro profundo aprovechado a través de pozos.<sup>9</sup>

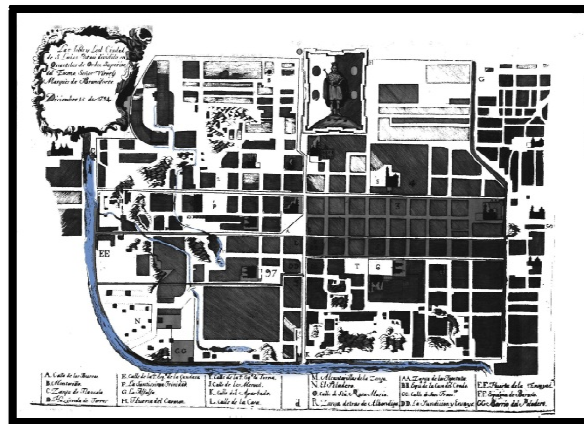
Algunos aspectos que han sido parte de la historia del valle de San Luis se encuentran en relación a las condiciones de la cuenca hidrológica tales como las geológicas prevaleciendo roca de tipo ígnea extrusiva y sedimentaria, la topografía del valle sobre una planicie rodeada de llanuras y sierras,<sup>10</sup> los que en conjunto con la precipitación facilitaron la infiltración del agua al subsuelo y la generación de corrientes superficiales, siendo las más importantes las escorrentías y afluentes provenientes de las partes altas de las sierras, que a su vez dieron origen a diferentes cuerpos de agua que perecieron o fueron alterados a través del tiempo.

La existencia de tales factores y los recursos hídricos a los que dio lugar favoreció los asentamientos humanos en este valle, que a finales del siglo XVI darían paso a la conformación y fundación del pueblo de San Luis. Asimismo, ya durante el periodo virreinal el crecimiento y configuración del núcleo poblacional fue marcado por el aprovechamiento de ojos de agua, manantiales, ríos, arroyos y corrientes en beneficio de las actividades y costumbres de la sociedad potosina, resultando con ello una nueva configuración de tales sistemas y del paisaje de la región; sobre lo cual dejan constancia algunos testimonios de cronistas que visitaron o se instalaron en la región entre el siglo XVI al XVIII, correspondientes en su mayoría a distintas órdenes religiosas; como fue el caso del jesuita Andrés Pérez de Rivas, al mencionar “este lugar [...] (es) un hermoso llano, donde brotan varios manantiales de fuentes, y se halló comodidad para plantar árboles y huertas, de donde se les lleva el agua y bastimentos a los que trabajan el cerro”.<sup>11</sup>

A finales del siglo XVIII, algunos de los cuerpos de agua superficiales, alimentados por ojos de agua que abarcaron una extensión de tierra considerable fueron una laguna perene, ubicada entre el templo de San Agustín, el barrio de la Alfalfa hasta la lagunita y por la parte norte estaba una ciénaga, atrás del colegio el Instituto Científico y Literario y el templo de San Juan de Dios, tal como se observa en el plano de la ciudad levantado en 1794.

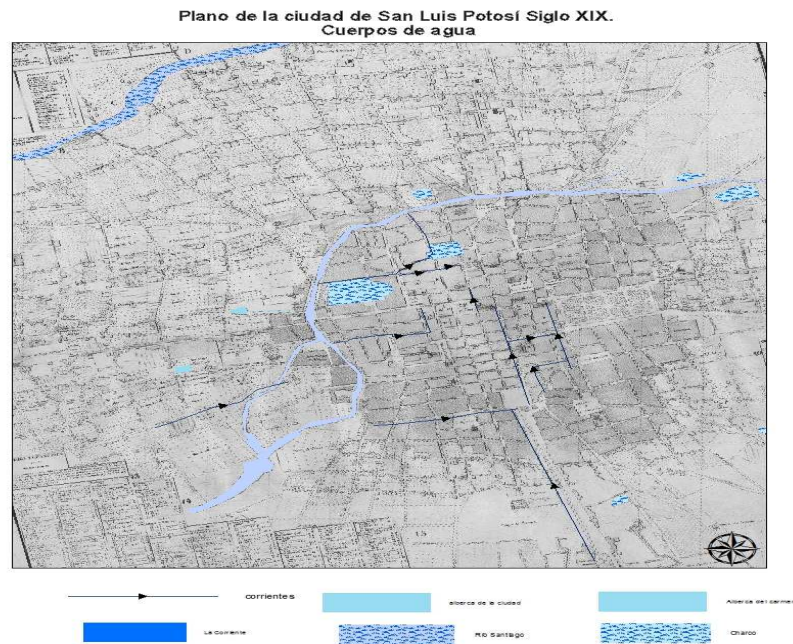
El rendimiento y existencia de los campos de cultivo en la ciudad dependió del suministro constante de líquido producido por la precipitación y las corrientes que daban lugar como fueron “los charcos de Santa Ana” y que a su vez alimentaron algunas ciénagas como el “charco verde”, éstas también pueden observarse en el plano de la ciudad de 1794. Para usar estas aguas fue necesario su control y derivación, mediante mecanismos, como fue el

canal denominado “la Corriente”, que solucionarían la salida de grandes volúmenes de agua que llegaba a concentrarse en ciertos periodos de tiempo y la situación contraria.



**Figura 1.** “La noble y leal ciudad de San Luis Potosí dividida en cuarteles de orden superior y del virrey Marques de Branciforte, 1794”, en: Mapoteca Orozco I Berra, Colección Orozco I Berra, 824-OYB-7242-B, <http://w2.siap.sagarpa.gob.mx/mapoteca/>

A partir de los datos que proporciona Julio Betancourt en el libro *La ciudad de San Luis Potosí, sus plazas y calles* (1921), los planos de la ciudad realizados en 1864 por B. Laurent y 1869 por Florencio Cabrera, en conjunto con la información de archivo, se puede distinguir los principales cuerpos de agua superficiales que prevalecieron en los primeros años de la ciudad de San Luis Potosí las primeras décadas del siglo XIX.



**Figura 2.** Cuerpos de agua de la ciudad XVIII y XIX. Modificado de: Cabrera, Florencio “Plano de la ciudad de San Luis Potosí” 1869, en: Mapoteca Orozco I Berra, Colección Orozco I Berra, 824-OYB-7242-B, <http://w2.siap.sagarpa.gob.mx/mapoteca/>

Entre estos recursos el que más destacó fue la "Zanja" o "Corriente", construida en 1688, fue una obra urbana de gran trascendencia para el desagüe del excedente de aguas pluviales, con alrededor de mil 700 metros de longitud y con profundidad que varió de dos a cinco metros; inicio del lado oriente, donde recogía los excedentes de los Charcos de Santa Ana y finalizaba hacia el lado norte de la ciudad derramando en el lado sur del cementerio del Montecillo.<sup>12</sup>

Al interior de la población existió un depósito natural de agua destinado para diversos usos, denominado "la Alberca", ubicada en el barrio de Tequisquiapan y a través del que se derivó el recurso hacia la fuente de la Plaza Mayor y algunos jardines públicos<sup>13</sup> además del convento de los carmelitas que también hacían uso de éste mediante una cañería de barro construida por los mismos.<sup>14</sup>

El "río Española", también conocido por río de San Juan de Guadalupe, proporcionó aguas que se derramaban al mote de San Sebastián beneficiando con ello las pocas labores agrícolas en estas villas.<sup>15</sup> De igual manera, la presencia del río Santiago a las afueras de la capital potosina permitió la existencia de un aprovechamiento tradicional para el riego de huertas en las poblaciones de Santiago, Tlaxcala y parte de Tequisquiapan.<sup>16</sup>

La acequia de Tlaxcala corría de poniente a oriente proveniente de los ojos de agua de Pablos, ubicados por la huerta y colegio de "La Compañía", travesó parte una fracción del camino real de Tlaxcalilla y Real de Guadalcazar, hasta llegar a la parte noroeste de la ciudad,<sup>17</sup> tal como se observa en el plano de 1794. Esta acequia fue el principal medio de acceso de agua de la villa de Tlaxcala e incluso el suministro de éste todavía permaneció vigente hasta 1835 cuando comienza a ser mínima la cantidad de líquido que conducía. Tlaxcala únicamente contó con esta fuente, algunos pozos que se caracterizaron por poseer aguas dulces y a las inmediaciones existieron dos arroyos conocidos por "las Zanjas", que corrían por el rumbo oriente hasta el campo santo y el agua que aprovechaban del río Santiago.<sup>18</sup>

Las actividades y los medios creados para garantizar el acceso de agua en cada una de las poblaciones correspondientes a la ciudad de San Luis Potosí fueron diferentes, variaron de acuerdo con su proximidad a las fuentes y los medios financieros para invertir en la conservación o creación de este tipo de infraestructura, lo cual dio lugar a un proceso de desarrollo social y económico entre estos núcleos sociales determinado por la captación y acaparamiento del recurso.

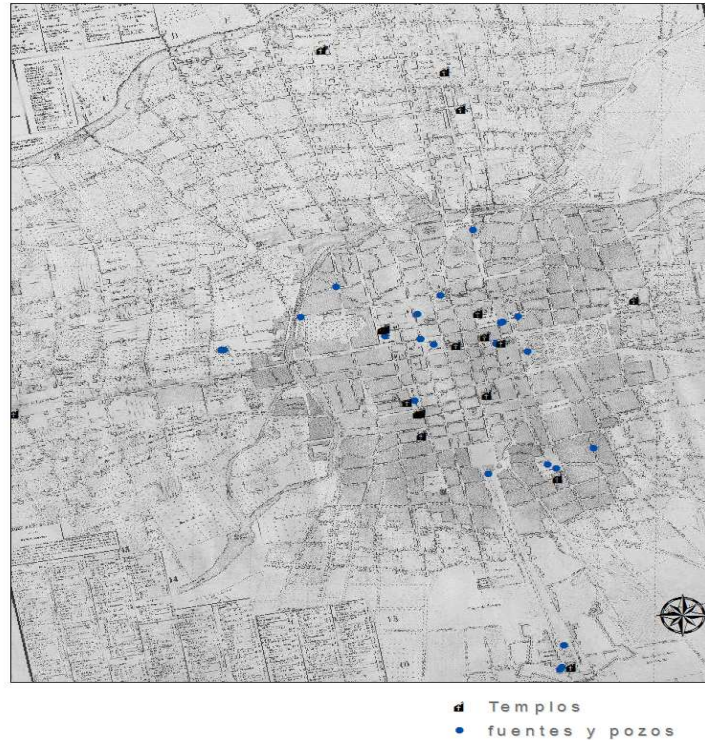
De esta manera la conformación de las plazas principales estuvo en relación con la existencia de algún ojo o manantial de agua, en donde debían existir las condiciones que favorecieran la concentración de los servicios públicos y edificios gubernamentales y eclesiásticos ubicados en éstos. Todo lo cual se puede observar en el siguiente plano que contiene las principales plazas y la distribución de ojos de agua, pozos y fuentes de agua de acceso público que existieron alrededor del siglo XVIII y todavía hacia las primeras décadas del XIX.

La presencia de fuentes o piletas en las casas de nobles representó cierta comodidad y prestigio pues muy pocos podría acceder a una merced o concesión de agua, la que les permitía prescindir del acceso a fuentes públicas.<sup>19</sup> Sin la posibilidad de acceder a una merced de agua y contar con una fuente cercana un gran porcentaje de la población potosina recurría al servicio de los aguadores<sup>20</sup>, quienes repartían el líquido de casa en casa.<sup>21</sup> Los aguadores poseían un importante papel social a partir del servicio que otorgaban y además de acuerdo a la Comisión de Obra Pública fueron los encargados del aseo y limpieza de los paseos y de las propias fuentes.<sup>22</sup>

Estas formas de acceso al agua permanecieron presentes en los primeros siglos de conformación de la ciudad, dentro de los cuales el suministro se mantuvo constante y no fue sino hasta la introducción de las reformas borbónicas en 1787, cuando se repensó sobre los sistemas de abasto que beneficiaran el bienestar de la población y crecimiento de los centros económicos del virreinato de la Nueva España, por lo que en San Luis Potosí en este

periodo sólo se abrieron algunos pozos de agua, pero en estas ideas surge el antecedente sobre crear una infraestructura que proveyera de un mayor volumen de agua que el que proveían los pozos.

Plano de la ciudad de San Luis Potosí Siglo XIX.



**Figura 3.** Plazas públicas, templos, fuentes de agua. Modificado de: Cabrera, Florencio “Plano de la ciudad de San Luis Potosí” 1869, en: Mapoteca Orozco I Berra, Colección Orozco I Berra, 824-OYB-7242-B, <http://w2.siap.sagarpa.gob.mx/mapoteca/>.

### 3.1. Transformaciones de las fuentes de agua

En los primeros años del pueblo de San Luis hasta finales del siglo XVIII el sistema hídrico del valle fue alterado paulatinamente por el surgimiento de la propia población, la derivación de agua hacia las huertas, las haciendas mineras, entre otras actividades económicas desarrolladas en ese tiempo. Posteriormente como producto de la implantación de las políticas borbónicas y con ella la introducción de ideas modernizadoras de los principales centros económicos, el asunto del agua que anteriormente se mantuvo en manos de las órdenes religiosas sería administrado por el Estado, y con ello las obras hidráulicas se reorientaron a favorecer el desarrollo económico de San Luis Potosí.

En los primeros años de vida independiente prevaleció una nueva etapa en la transformación del aprovechamiento de las fuentes de agua, cuando el primer gobernador del Estado de San Luis Potosí apoyó el proyecto de introducir agua desde los manantiales de la Cañada del Lobo, ubicados en la Sierra de San Luis hasta la Calzada de Guadalupe, en la villa de San Juan de Guadalupe; obra que se concluiría hasta 1830, por causa de las constantes interrupciones y por la falta de fondos destinados a la misma.<sup>23</sup>

A mediados del siglo XIX, en San Luis Potosí como en otros centros urbanos, la transformación gradual que vivieron condicionó la ampliación del sistema de suministro del líquido y el drenaje de aguas sucias; en ellos se vislumbraron los alcances que debía tener el equipamiento urbano, artístico y arquitectónico, así como la introducción de nuevas tecnologías que aumentarían su alcance y eficacia.

Para mejorar las condiciones higiénicas se transformaron algunas prácticas cotidianas alrededor de las aguas sucias, como parte de los desechos que generaba la ciudad y que por muchos años se derivaron a las huertas por medio de zanjas abiertas para este fin. Estas zanjas en su totalidad corrían a cielo abierto, arrastrando con ellas una gran cantidad de materia descompuesta y diversos tipos de desecho. Por estas razones para el siglo XIX las quejas sobre la falta de higiene alrededor de tales canales se justificó por los focos de infección, el ambiente mal sano y las enfermedades que podía causar su presencia; razones por las que las autoridades mandaron cerrar o tapar los caños y zanjas que permanecían en esta condición.<sup>24</sup>

La Corriente fue uno de los tantos sistemas de derivación de aguas sucias que fueron construidos a cielo abierto, por lo que se decía tal condición generaba un ambiente de insalubridad en los tramos por donde corría, perjudicando a los vecinos. Por estas causas, uno de los objetivos que se plantearon las autoridades locales de San Luis Potosí fue tapar este conducto, lo que realizaron en algunas partes de este canal. Al finalizar el año de 1887 la conclusión de estos trabajos fueron una de las causas por las que San Luis padeció una de las calamidades más dañinas, como fue la inundación de ese mismo año y el siguiente.<sup>25</sup>

#### 4. ESCASEZ DE AGUA

Ante la demanda constante de agua que prevaleció en la capital potosina, después de quedar inaugurado el sistema de la Cañada del Lobo, el resto de las fuentes continuaron funcionando e incluso se realizaron constantes trabajos en éstas. Una de estas construcciones fue la propia prolongación de la cañería proveniente de esta cañada hasta el Paseo de la Constitución la cual se denominó como acueducto de Cabrera.

Alrededor de la segunda mitad del siglo XIX fueron constantes las peticiones para el suministro de agua no sólo en el paseo de la Constitución, a este se agregaron los barrios de la Merced y San Sebastián que solicitaban a la comisión de Acueductos y Paseos el abastecimiento del líquido y para los que este organismo formuló algunos proyectos.<sup>26</sup>

La demanda de agua de estos barrios da cuenta de la falta de rendimiento que presentó el sistema de abastecimiento de agua proveniente de la Cañada del Lobo; el que en 1836 dentro de la misma calzada de Guadalupe no proveía el suficiente líquido para regar los árboles plantados y para cubrir esta necesidad Sanabria propuso el mismo año abrir un tajo por medio del cual el recurso sería suficiente.<sup>27</sup>

Una explicación al limitado suministro que se observó en este sistema se encuentra en el aumento de la demanda para dirigir sus aguas a diferentes puntos de la ciudad, pues desde 1836 en las juntas de cabildo fue recurrente la referencia al gasto público que implicaba la reparación de la cañería de la Cañada del Lobo; la reparación de este sistema dentro de la ciudad consistió en la limpieza del caño que se realizó entre enero a noviembre del mismo año.<sup>28</sup>

Durante gran parte del siglo XIX fueron varios los años en los que se habló de la escasez de agua que reinaba en el valle de San Luis; la estimación de los años marcados por este hecho es un aspecto difícil de determinar, por la infinidad de factores que intervinieron para que estos se presentaran y por los cuales la población potosina fue mayormente afectada, por lo cual sólo se destacan algunos comentarios en las notas periodísticas de la época. Entre éstos en un artículo publicado el 2 de abril de 1864 en el que se analizan las causas de la expansión de la



fiebre tifoidea en la ciudad, menciona la escasez de lluvias en el valle de San Luis, y que también estuvo relacionado con el hecho de que “hace muchos años que patentemente se ve que ha habido un cambio en las estaciones y en el clima de esta ciudad, siendo en el día tan variable, que sus repentinos e inesperados cambios son la causa de muchas [...] enfermedades”<sup>29</sup> Ese mismo año se vinculó también la carencia de semillas como consecuencia de las pocas labores en el campo, provocadas por la falta de precipitación años atrás.<sup>30</sup>

Durante el periodo del segundo Imperio Mexicano, ante la necesidad de información y de un organismo encargado de vigilar las mejoras materiales una de las disposiciones dictadas por el emperador Maximiliano en 1866, a través del Ministerio de Fomento a las Prefecturas municipales, fue que en atención a “las necesidades de los pueblos y siendo una de las principales el que tengan la suficiente agua potable ha tenido a bien disponer que por este Ministerio se tomen las providencias conducentes a inquirir los lugares que carezcan de ese elemento indispensables a fin de procurar el remedio correspondiente”<sup>31</sup>

En respuesta a esta medida la comisión encargada para atender este asunto en San Luis Potosí, representada por el general Barrueta e Y. Barajas, informaron la escasez de agua que prevalecía en el Estado y la necesidad que existía de abrir pozos artesianos que según decían “colocados a distancias convenientes y repartidos en los lugares más a propósito para proveer al consumo de los habitantes: son dos objetos muy importantes, que debieran ocupar de preferencia a todos los demás negocios”, en cuanto a la posibilidad de tomar estas medidas en la capital, la comisión decía que en atención a las “las noticias de personas inteligentes [concluyeron] que no darían buen resultado los trabajos” y por el desconocimiento que tenían sobre esta materia no podían establecer proposiciones absolutas.<sup>32</sup>

Entre los informes que rindió al Emperador Maximiliano en 1866 la Prefectura de San Luis destacó la escasez de agua en casi todo el municipio y de lo que tenía “la esperanza de remediarla con la apertura de pozos artesianos, que [...] repartidos en los lugares más a propósito para proveer al consumo de los habitantes [...] que debieran ocupar de preferencia a todos los demás negocios la atención constante de la Corporación”<sup>33</sup>

Otras de las medidas para atender la carencia del suministro se presentaron en 1867 cuando la comisión de Acueducto y Paseos consideró que debía ser reparado el acueducto de Cabrera cubriendo sus tajos para evitar su colmatación y la evaporación del agua, la importancia de ello respondió a que

el acueducto de la alberca del Carmen esta ensolvado y se necesita reconstruir la cañería y limpiar los manantiales para que en todas las estaciones sea permanente; pero esta obra es de un costo de unos miles de pesos y no puede emprenderse en la actualidad por falta de fondos. En el mismo estado se encuentra el acueducto de la alberca llamada de la Ciudad y por la misma razón no se han compuesto; así como el de la fuente de la plaza del mercado.<sup>34</sup>

Estas últimas fueron algunas de las principales fuentes de agua de las que se proveían los habitantes de San Luis Potosí en aquel entonces, por lo que se puede reconocer la carencia de agua que comenzó a resentir algunos sectores de la población y principalmente la decadencia de tales fuentes ante la imposibilidad de un mantenimiento que respondiera a su inconsistencia.

En este panorama de carencia de agua fueron aclamados los proyectos para solucionar tal urgencia, entre ellos Justo Aldea en marzo de 1869 solicitó al Congreso del Estado

el permiso de construir una presa en la Cañada de San José, perteneciente a la Hacienda de la Tenería, a poco más de una legua de la ciudad, al rumbo Noroeste; con el fin de formar un depósito considerable de agua, que sirva de agente motor para establecimientos fabriles, y para regar una gran extensión de terrenos de este valle<sup>35</sup>

Para este proyecto de la presa de San José el solicitante lo retomó del formulado por José Ma. Siliceo en 1863, la importancia y orientación del mismo según Aldea atendió esencialmente a beneficiar la actividad agrícola de la ciudad, mediante el riego de grandes extensiones de cultivos y con el aumento del valor de la propiedad, así como la movilización de capital al hacer productivas tierras que de otra manera no producían grandes beneficios.

La carencia de vital líquido se prolongó años más tarde, cuando en 1872 la comisión de Acueductos y Paseos informó el estado de los cuerpos de agua de la ciudad, refiriéndose en particular a las albercas encontradas en un estado de abandono, por lo que recomendaban atender tal situación, tal vez porque para ese momento tenía una mayor condición de azolvamiento. La comisión recurrió a los ingenieros Camilo Bros y Rolón para rendir un informe sobre las condiciones de estos cuerpos de agua y la manera de prever de agua necesaria al paseo de la Constitución.<sup>36</sup>

El informe de uno de estos ingenieros, Camilo Bros fue publicado ese mismo año en el periódico oficial, en donde describió los trabajos realizados en torno a la limpia y desazolve de unos caños en San Juan de Guadalupe, también sobre el acueducto de la Cañada del Lobo respecto a la avenida máxima de agua que conducía identificó en 1872 un caudal escaso de 1.203 litros por segundo el que disminuyó del 9.76 litros por segundo alcanzado en 1866, lo que había sido consecuencia de los últimos dos años de escasas lluvias.<sup>37</sup>

#### **4.1. Fuentes de agua desaparecidas o alteradas**

Las fuentes de agua que seguían siendo aprovechadas desde la fundación de la ciudad, en conjunto con las que se fueron abiertas durante el siglo XIX, comenzaron a perder su rentabilidad a finales de este siglo, lo cual fue resultado de un cambio hidrológico acontecido en el valle. De acuerdo con Camacho Altamirano, este último hecho tuvo lugar con la disminución del volumen de agua que había caracterizado la cuenca, como consecuencia de los cambios meteorológicos, de uso del suelo, composición vegetal (ocasionada por el auge minero y la introducción de ferrocarriles en 1880), elementos que afectaron la infiltración y el periodo de lluvias en el valle y el centro poblacional.<sup>38</sup> A todo esto se sumó el incremento de la demanda del líquido que derivó las políticas de modernización de las ciudades, para proveer las condiciones que requería el desarrollo social y agrícola.

Uno de los aspectos que en gran medida determinó el aprovechamiento y transformación del recurso hídrico fue la inconsistencia en el volumen de agua precipitada en el valle, que en tiempo de abundantes lluvias originaba parte de los cuerpos de agua superficiales, los que por la ausencia de éstas se secaban; lo que implicó que la población desarrollara medidas para atender el rendimiento del recurso en todo el año.

La fluctuación de la precipitación pluvial en el valle de San Luis provocaba grandes periodos de escasez de agua que llegaba a ser mayor en ciertos años, esta fue una característica que tuvo presente la sociedad potosina y de ello hace mención el *Periódico Oficial* en 1892 "Cierto es que el agua ha sido siempre en San Luis escasa, pero es innegable también que este año se ha agravado su escasez a causa de la sequía, insólita de la que todo el país ha sido víctima [de esto] no puede ser responsable el Gobierno, que no tenía en su mano medio para prevenirla."<sup>39</sup> Tal afirmación resulta incuestionable aunque las acciones de las autoridades para resolver estas situaciones tampoco fueron de las más acertadas, pues como se ha visto sólo fue posible crear medios de abastecimiento conforme la capacidad del Ayuntamiento.

Si en otras etapas de la historia de la capital potosina la oscilación en los niveles de precipitación había provocado severos periodos de carencia del recurso hídrico, para este último periodo los factores descritos por Camacho si bien anteriormente habían afectado al agua que llegaba al valle, también se presentaron bajo nuevas condiciones como fue la diversificación de los usos del agua a diversos rubros de las actividades económicas, vinculados con cambios en la vida cotidiana y las innovaciones de los sistemas de abasto.

## 5 CONCLUSIONES

Los grandes problemas a los que enfrenta hoy la sociedad potosina en relación con el agua no sólo se reducen a la cobertura del agua potable o los efectos por el exceso de esta en temporadas de alta precipitación, pues de acuerdo con investigaciones recientes, comprende a grandes rasgos: la carencia de una concientización sobre el valor real del agua, la falta de una “cultura del agua” que reconozca su escasez, ausencia de tecnologías adecuadas para utilizarla de manera racional, falta de información sistematizada para la toma de decisiones e inadecuadas formas de organización.<sup>40</sup> A todo esto podría agregarse el desconocimiento sobre el devenir histórico acontecido en la ciudad de San Luis Potosí en relación con los recursos hídricos. La generación de este conocimiento permite reconocer un panorama más amplio de lo que ha sido el aprovechamiento del recurso en San Luis Potosí y todas las estructuras creadas para ello, lo cual resulta útil para reconocer las decisiones y administración que han girado en torno a este elemento desde las autoridades y la sociedad en general.

Un modelo de toma de decisiones que favorezca una gestión sostenible del agua debe considerar la perspectiva histórica desde la cual se han conformado los conflictos asociados con la demanda e inconsistencia del recurso en la región centro de San Luis Potosí, es por ello que las conclusiones de la presente investigación versan sobre la identificación de algunas de las etapas más críticas que ha sufrido la ciudad en relación con el agua, la importancia de continuar ampliando las líneas de investigación desde la perspectiva ambiental en materia del agua y reflexionar sobre algunos puntos centrales que se deben tomar en cuenta para establecer soluciones integrales sobre la problemática del agua potable en San Luis Potosí.

Para obtener una reflexión del presente desde la historia, es necesario reconocer las experiencias en el pasado con las preguntas adecuadas, que en este caso se refieren a tres aspectos que marcaron la relación de la sociedad-agua en la ciudad de San Luis Potosí. El primero consiste en la organización sobre el aprovechamiento hídrico que adoptó la sociedad potosina y que influyeron en la disponibilidad de éstos; el segundo, en las formas que han debido reorganizar los usos del agua a partir de la transformación en las relaciones sociales, las prácticas cotidianas en materia de salubridad e higiene y las visiones sobre el crecimiento económico a partir de la agricultura, industria y urbanidad; y el tercero, sobre las disyuntivas que el proceso de transformación en relación con el agua produce en sí, como fue la alteración de la disponibilidad y presencia de fuentes de agua.

## REFERENCIAS

1. Worster D. 2008. “Transformaciones de la Tierra”, Montevideo: Coscoroba Ediciones, <http://www.ambiental.net/coscoroba/index.html>, (04 marzo. 2012)
2. Marco Antonio Jacobo Villa, Elsa Saborio Fernández (coord.) 2004. *La gestión del agua en México: los retos para el desarrollo sustentable*. Universidad Autónoma Metropolitana/Miguel Ángel Porrúa, México.
3. Castro Herrera, G. 2007. *El agua entre los mares. La historia ambiental en la gestión del desarrollo sostenible*. Ciudad del Saber, Panamá.
4. Aboites Aguilar, L. 2005. “Del agua nacional al agua mercantil ambiental. Algunas ideas para hacer una investigación sobre historia contemporánea de los usos del agua en México”, en *El agua en la Historia de México*, Juan Manuel Durán, Martín Sánchez y Antonio Escobar (editores). Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades Universidad de Guadalajara/ El Colegio de Michoacán, México, 225-339.
5. Miño Grijalva M. y Hurtado Hernández E.(coords.). 2005. *Los usos del agua en el centro y norte de México: historiografía, tecnología, conflictos*. Universidad Autónoma de Zacatecas/ El Colegio de México, México.
6. Aboites L. 2005. “Breve revisión de la historiografía sobre la cuestión hidráulica del norte de México en el siglo XX”, en: *Los usos del agua en el centro y norte de México: historiografía, tecnología, conflictos*. Universidad Autónoma de Zacatecas/ El Colegio de México, México, 15-36.
7. Lugo Hubp J. y MosheInbar (comps.). 2002. *Desastres naturales en América Latina*. Fondo de Cultura Económica, México.

9. COTAS y Comisión Nacional del Agua. 2005. "Estudio técnico acuífero respecto a las condiciones geohidrológicas y sociales del acuífero San Luis Potosí en el estado de San Luis Potosí". CNA, México, [ftp://ftp.consejosdecuenca.org.mx/pub/downloads/CCA/E\\_T\\_SLP.pdf](ftp://ftp.consejosdecuenca.org.mx/pub/downloads/CCA/E_T_SLP.pdf), (abril de 2013)
10. Contreras Servín, C. y Galindo Mendoza, M. 2008. "Abasto futuro de agua potable, análisis espacial y vulnerabilidad de la ciudad de San Luis Potosí, México", en: *Cuadernos de geografía*, revista Colombiana de Geografía, n. ° 17, Bogotá, Colombia, 127-137: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/viewFile/10923/11521>, (27 nov., 2011)
11. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2000-2003. "San Luis Potosí: cuaderno estadístico municipal 2002", Gobierno del Estado de San Luis Potosí/ H. Ayuntamiento Constitucional de San Luis Potosí, México.
12. Montejano y Aguiñaga, R. 1984. "San Luis Potosí: la ciudad subterránea", en: *Presencia de San Luis*, núm. 63-68, mayo-julio.
13. Galván Arellano, A. 2006. *El desarrollo urbano en la ciudad de San Luis Potosí. Estudios de arquitectura del siglo XVII*, INAH/UASLP, México.
14. Cabrera A. 1991. *Apuntes históricos*, geográficos y administrativos referentes a la ciudad de San Luis Potosí. Archivo Histórico del Estado de San Luis Potosí, México.
15. Camacho Altamirano, H. 2001. *Empresarios e Ingenieros en la ciudad de San Luis Potosí: la construcción de la presa San José 1869-1903*. Ponciano Arriaga, México.
16. Archivo Histórico del estado de San Luis Potosí (AHSLP), Secretaría General de Gobierno, 1835.19, f.2, marzo de 1835.
17. AHSLP, Ayuntamiento, 1868.8, f. 4, Tequisquiapan 24 de marzo, 1868.
18. Betancourt, J. 1921. *La ciudad de San Luis Potosí, sus plazas y calles, Notas históricas*. Talleres gráficos, San Luis Potosí.
19. AHSLP, Secretaría General de Gobierno, 1835.19, f.2, Sala capitular de la Villa de Tlaxcala 17 de marzo de 1835.
20. Zárate Toscano, V. 2005. "Los privilegios del nombre. Los nobles novohispanos a fines de la época colonial", en *Historia de la vida cotidiana en México. El siglo XVIII: entre tradición y cambio*. T. III, Pilar Gonzalvo Aizpuru (coord.). El Colegio de México/Fondo de Cultura Económica, México, 333.
21. Persona que tiene por oficio llevar agua en recipientes de las fuentes de abastecimiento hasta los sitios de utilización, mediante el pago de sus servicios.
22. Francis Lyon, G. 2000. "Residencia en México, 1826. Diario de una gira con estancia en la República de México", en: Iturriaga, J. N., *Viajeros extranjeros en San Luis Potosí*. Ponciano Arriaga, México.
23. AHSLP, Ayuntamiento, 1872.5, Acueductos y Paseos, 1872.
24. "La caja de el agua". 1870. *La Ilustración potosina*, 12 de marzo, 1870 en: De Cuéllar, J. T. y Flores Verdad J. Ma. 1989. *La Ilustración potosina. Semanario de literatura, poesía, novelas, noticias, descubrimientos, variedades, modas y avisos, 1869*, UNAM, México, 173-174.
25. Como fueron en 1887 los pozos descubiertos en la calle del Carmen, de Tlaxcala y Libertad. En: AHSLP, Ayuntamiento, 1887.6, Obra Pública, 6 de octubre, 1887.
26. *La sombra de Zaragoza*, núm. 168, 3 de octubre, 1868.
27. AHSLP, Ayuntamiento, 1872.5, Acueductos y Paseos.
28. AHSLP, Ayuntamiento, 1836.5, Acueductos y Paseos, 1 de enero de 1836.
29. AHSLP, Ayuntamiento, 1836, 1836.4, 1836.5, Acueductos y Paseos.
- <sup>30</sup>. *La Restauración*, núm. 34, 2 de abril, 1864.
31. *La Restauración*, núm. 37, 14 de abril, 1864.
32. AHSLP, Ayuntamiento, 1866.6, f.8, 23 de junio, 1866.
33. AHSLP, Ayuntamiento, 1866.6, f.8, 1º de julio, 1866.
34. AHSLP, Ayuntamiento, 1886.1, Acueductos y Paseos, 25 de mayo, 1886.
35. *La sombra de Zaragoza*, núm. 34,2 de mayo, 1867.
36. *La sombra de Zaragoza*, núm. 212, 7 de abril, 1869.
37. AHSLP, Ayuntamiento, 1872.5, Acueductos y Paseos, 30 de enero de 1872.
38. AHSLP, Ayuntamiento, 1872.5, Acueductos y Paseos.
39. *Estandarte*, núm. 747, 25 de noviembre, 1892.
40. Santos Zavala, *Acción*, 53.



# ASEQUIBILIDAD DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE: UNA NUEVA DIMENSIÓN DEL PROBLEMA HÍDRICO EN MÉXICO

Armando ALDAMA-NALDA<sup>a</sup> y Frida L. ARREOLA<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Doctorado en Políticas Públicas (CIDE), [fco.aldama@gmail.com](mailto:fco.aldama@gmail.com)

<sup>b</sup> Maestría en Economía Industrial, UANL, [frida\\_arreola4@yahoo.com.mx](mailto:frida_arreola4@yahoo.com.mx)

## RESUMEN

Desde hace más de 30 años los gobiernos de los países latinoamericanos han buscado alcanzar el acceso universal de agua potable mediante el despliegue y modernización de infraestructura hidráulica y con diversos procesos para hacer más eficiente la gestión de los servicios. Sin embargo, existen una serie de temas que podríamos definir como de segunda generación, los cuales se han abordado poco tanto por los hacedores de política como por la academia. Entre estas problemáticas se encuentran la calidad, cantidad, pureza y continuidad del agua que reciben los hogares, así como la asequibilidad de las tarifas que pagan los consumidores. El objetivo fundamental de este trabajo es analizar cuáles factores influyen significativamente para que un hogar mexicano rebase dos umbrales de asequibilidad, para lo que se desarrollan dos modelos econométricos de tipo probabilísticos, definiendo como variables dependientes dos cotas provenientes de estudios previos de 3 y 5% del gasto total del hogar dedicado a agua. Los datos provienen de dos encuestas del INEGI, así como de un estudio de Conagua sobre el subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Algunos de los resultados más importantes son que el cuartil de ingreso, la jefatura femenina del hogar, la capacidad de recaudación del organismo operador, el tamaño de la localidad y la Región Hidrológico Administrativa donde se encuentra este hogar tienen efectos significativos para que un hogar supere los umbrales de asequibilidad. Contrario a otros estudios, el efecto del tipo de organismo operador es ambiguo.

**Palabras clave:** Servicio de agua potable, Asequibilidad hídrica, Hogares mexicana

## 1 INTRODUCCIÓN

México, como muchos otros países de América Latina ha vivido una serie de tendencias u olas administrativas en cuanto a la provisión del servicio de agua potable. La mayoría de éstas han estado orientadas a garantizar el acceso mediante la extensión y modernización de la infraestructura (Bitrán 1999; Pineda Pablos 2002), así como a impulsar una gestión eficiente de los servicios mediante una medición más precisa, aumento de la recaudación y reestructuraciones tarifarias que reflejen mejor los costos reales de la provisión (Bitrán 1999; Pimentel-Marañón 2002). Sin embargo, existen una serie de temas que podríamos definir como de segunda generación, los cuales se han abordado poco tanto por los hacedores de política como por la academia. Entre estas problemáticas se encuentran la calidad, cantidad, pureza y continuidad del agua que reciben los hogares, así como la asequibilidad de las tarifas que pagan los consumidores. La asequibilidad hídrica puede definirse como la capacidad que tiene un consumidor para pagar un nivel básico o mínimo de agua, por lo que puede ser medida mediante el porcentaje del ingreso que dedica un hogar al pago de dicho servicio (Fankhauser & Tepic, 2007:1039). Algunos autores (Fankhauser and Tepic 2007) han discutido qué porcentaje del ingreso representa un gasto medianamente asequible y justo para que un hogar lo dedique al pago de agua potable. La OCDE (2003) define un umbral de asequibilidad cuando el pago de este servicio no supere 3% del total de los ingresos del hogar y aún y cuando no existe un consenso, este porcentaje va de 3 a 5%. El objetivo fundamental de este trabajo es analizar cuáles

factores influyen significativamente para que un hogar rebase un umbral de asequibilidad, para lo que se desarrollan dos modelos econométricos de tipo probabilísticos, definiendo las dos cotas que marca la literatura de 3 y 5%. Los datos provienen de dos encuestas: la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares Mexicanos (ENIGH) (2010) y la Encuesta Nacional de Gobierno, Justicia y Seguridad Pública Municipal (2009).

Este documento se divide en cinco apartados. Después de esta introducción, en el apartado dos se discuten algunos de los trabajos más importantes sobre asequibilidad hídrica y se reafirma la importancia del tema. En el tercero, se realiza una breve narración de las tendencias en las políticas de servicios de agua potable y alcantarillado en México y se muestran algunos datos de carácter general acerca del crecimiento de la cobertura. En el cuarto apartado se describe el modelo, así como las principales variables que lo componen. Finalmente, en el apartado cinco se presentan los resultados más sobresalientes e implicaciones de política derivadas de este ejercicio.

## **2 LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO: TENDENCIAS, INVERSIONES Y TARIFAS**

Las políticas de agua potable y saneamiento en los países en desarrollo han estado guiadas durante la última década por una meta principal: aumentar la cobertura de servicios mediante la ampliación y modernización de la infraestructura hidráulica (Lentini 2011; Jouravlev 2004). México no ha sido la excepción y ha puesto en marcha varios programas gubernamentales que han buscado aumentar la cobertura mediante la extensión de las redes de agua potable, así como la construcción de plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas residuales (Pineda Pablos 2002; Bitrán 1999). Este proceso ha estado dominado por una serie de “olas” o tendencias administrativas que han determinado los mecanismos para conseguir la tan ansiada universalidad del acceso a servicios básicos. Dichas tendencias se han fundamentado en la creación y modificación de leyes, reglamentos, programas y organizaciones del sector público. Particularmente, se han distinguido tres etapas: la centralización durante el periodo de 1948 a 1983, la municipalización que va de 1983 a 1989, y finalmente la etapa de promoción de operadores autónomos que inicia en 1989, con la creación de la Comisión Nacional del Agua (Pineda Pablos 2002).

En la primera etapa, el Gobierno Federal tiene un rol central en la gestión de los sistemas de agua potable y alcantarillado, particularmente a través de la Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado, dependiente de la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) (Pineda Pablos 2002). La administración de estos sistemas se ejercía a través de las Juntas Federales de Agua Potable, donde se abría un espacio marginal para la participación de agentes locales (Pineda Pablos 2002). La legislación estaba encaminada asimismo para que la SRH mantuviera un control directo sobre la prestación del servicio, ya que en este periodo aparece la “Ley de Cooperación para Dotación de Agua Potable a los Municipios” donde se especificaban la concurrencia de recursos con los que el Gobierno Federal participaría en la construcción de infraestructura, así como las responsabilidades que asumirían los municipios. Específicamente, esta Ley afirmaba que “mientras esté pendiente la recuperación de los créditos a que se refiere el párrafo c) del artículo 2º, o las inversiones complementarias que con carácter de recuperables haya hecho el Gobierno Federal, la administración y dirección técnica de los servicios quedará a cargo de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, directamente o en la forma que la propia Secretaría determine” (Sistema de Información de Agua Potable y Saneamiento, 2010:144).

Sin embargo, el dinámico crecimiento de los centros urbanos y una demanda creciente de agua empezó a rebasar el esquema centralista de provisión, el cual fue cada vez más incapaz de cumplir con los objetivos de cobertura y calidad (Pineda Pablos 2002). Es en este contexto, que en 1976 la SRH transfiere esta

responsabilidad a la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), tratando de buscar una mayor concordancia entre la política de servicios públicos y el ordenamiento territorial del país (Pineda Pablos 2002). Sin embargo, a partir de 1980, y producto de la crisis económica que atravesaba el país, la SAHOP inicia un proceso de descentralización del servicio de agua potable y alcantarillado hacia los Gobiernos Estatales tratando de aliviar el pesado déficit fiscal que atravesaban las finanzas del Gobierno Federal (Pineda Pablos 2002; Bitrán 1999; Hernández-Téllez and Villagómez 2000). Finalmente, en 1983, mediante una reforma al artículo 115 constitucional se difiere la responsabilidad de la provisión de agua potable y alcantarillado a los Gobiernos Municipales con lo que se abre una segunda ola administrativa: la de la municipalización.

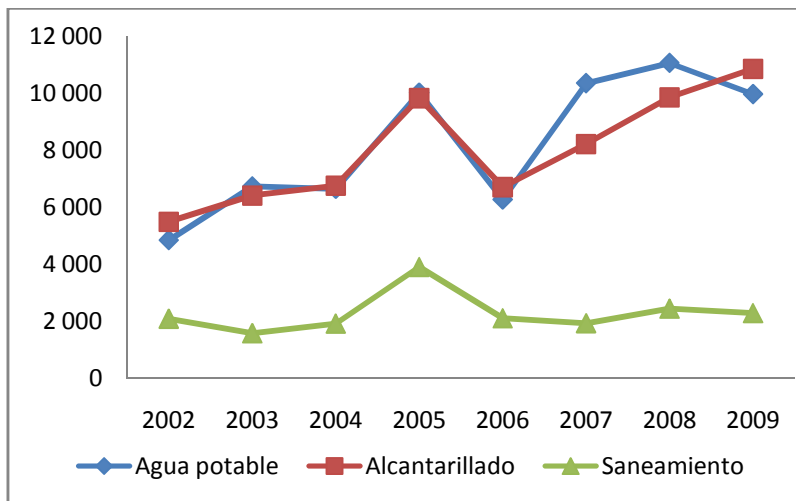
En esta segunda etapa los gobiernos locales comienzan paulatinamente a tomar las riendas los sistemas de agua potable y alcantarillado. Sin embargo, el proceso no está exento de múltiples limitaciones, las cuales provocaron deficiencias en la operación de los servicios. La primera de ellas fue que no se establecían mecanismos claros para el financiar la expansión y el mantenimiento de las redes (Pineda Pablos 2002), lo cual se combinó con el hecho de que las estructuras tarifarias y sistemas de cobranza eran deficientes, en el mejor de los casos, o incluso inexistentes (Pimentel-Marañón 2002). Asimismo, no se establecían las salvaguardas legales necesarias para que los gobiernos municipales pudieran hacerse de recursos y gestionar eficientemente la operación de los servicios aunado a que el federalismo fiscal de la época brindaba muy pocas fuentes de recursos adicionales para los gobiernos locales (Pineda Pablos 2002). De esta manera, para finales de la década de los ochenta, la descentralización no estaba del todo concretada (alrededor de once estados no habían descentralizado los servicios hacia los municipios aún) y el crecimiento de las redes de agua potable era todavía muy inferior al desarrollo de las ciudades.

Con la llegada de Carlos Salinas de Gortari a la Presidencia de la República se inicia una nueva tendencia en las políticas del sector hídrico en general y en la administración de los servicios de agua potable y alcantarillado en particular. La medida más importante es sin duda la creación de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) en 1989 con la intención de articular de manera coherente los programas y regulaciones que influían en el sector que hasta ese momento actuaban de manera aislada e incluso contradictoria. Además, se impulsa una mayor búsqueda de eficiencia en la gestión del recurso agua, mediante la implementación de algunos mecanismos de mercado que incentivarán un uso más racional, mayor inversión en infraestructura y una mejor recaudación por parte de la autoridad (Bitrán 1999). En términos de los sistemas de agua potable y alcantarillado, la Conagua dicta una serie de lineamientos generales que buscaban mejorar su gestión y operación, los cuales se pueden resumir en siete puntos fundamentales: descentralización, autonomía tarifaria, suspensión o limitación del servicio, estructura tarifaria, reinversión de los ingresos y transformación de las deudas de los usuarios en créditos fiscales (Pineda Pablos 2002).

Esta nueva ola administrativa vino acompañada por cuantiosas inversiones desde el Gobierno Federal. Por ejemplo, en este periodo se crea el Programa Nacional de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, el cual se sirvió como fuente de financiamiento para obras de extensión, modernización y construcción de redes. Este programa fue sostenido tanto con recursos de la federación, así como por tres empréstitos del Banco Mundial y el Banco Interamericano de desarrollo por alrededor de 850 millones de dólares (Pineda Pablos 2002). Se calcula que durante el periodo de 1988 a 1995 las inversiones en las obras de infraestructura hidráulica alcanzaron a representar el 2.4 % del producto interno bruto nacional y que la inversión en infraestructura de agua potable, alcantarillado y saneamiento rondó los 5,000 millones de pesos (Bitrán 1999; Pineda Pablos 2002). Estas importantes inversiones sirvieron para consolidar un nuevo modelo de gestión, basado en organismos operadores descentralizados y autónomos con mayores capacidades financieras, legales y administrativas que tuvieran mayor capacidad de respuesta a las problemáticas locales y con un funcionamiento similar al que presentan las



empresas privadas en entornos de mercados competitivos. Como se puede apreciar en el siguiente Gráfico, la tendencia reciente en la inversión del sector de agua potable y alcantarillado ha seguido presentando una tendencia creciente durante los últimos nueve años, mientras que a nivel de saneamiento ha sido más o menos constante.



**Gráfico 1.** Inversiones realizadas en el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento (2002 - 2009). Fuente: Conagua (2011)

En la década de los noventa la misma Conagua impulsa la participación de actores privados en diversas actividades relacionadas con la provisión de agua potable y alcantarillado. El propósito de esto era hacer que fluyera mayor inversión a los organismos operadores y hacer más eficiente su operación (Pimentel-Marañón 2002; Bitrán 1999; Pineda Pablos 2002; Rivera 1997; Hernández-Téllez and Villagómez 2000). Las actividades de empresas privadas en el sector han sido muy diversas y han ido desde la modernización de la infraestructura, el mejoramiento de la medición y la actualización de los padrones, hasta la prestación directa del servicio. Esto último ha sido muy limitado y sólo alrededor de 3% de los hogares mexicanos son atendidos por un organismo operador particular, donde destacan las ciudades Saltillo en Coahuila, Aguascalientes en Aguascalientes, y Cancún en el Estado de Quintana Roo. En cambio, como muestra el siguiente Cuadro, han aparecido otros arreglos institucionales para tratar de aumentar la eficiencia de los servicios como son los convenios con el gobierno estatal (Ej. Monterrey, Nuevo León) o bien la asociaciones intergubernamentales (Ej. Municipios de la Zona Metropolitana de Guadalajara).

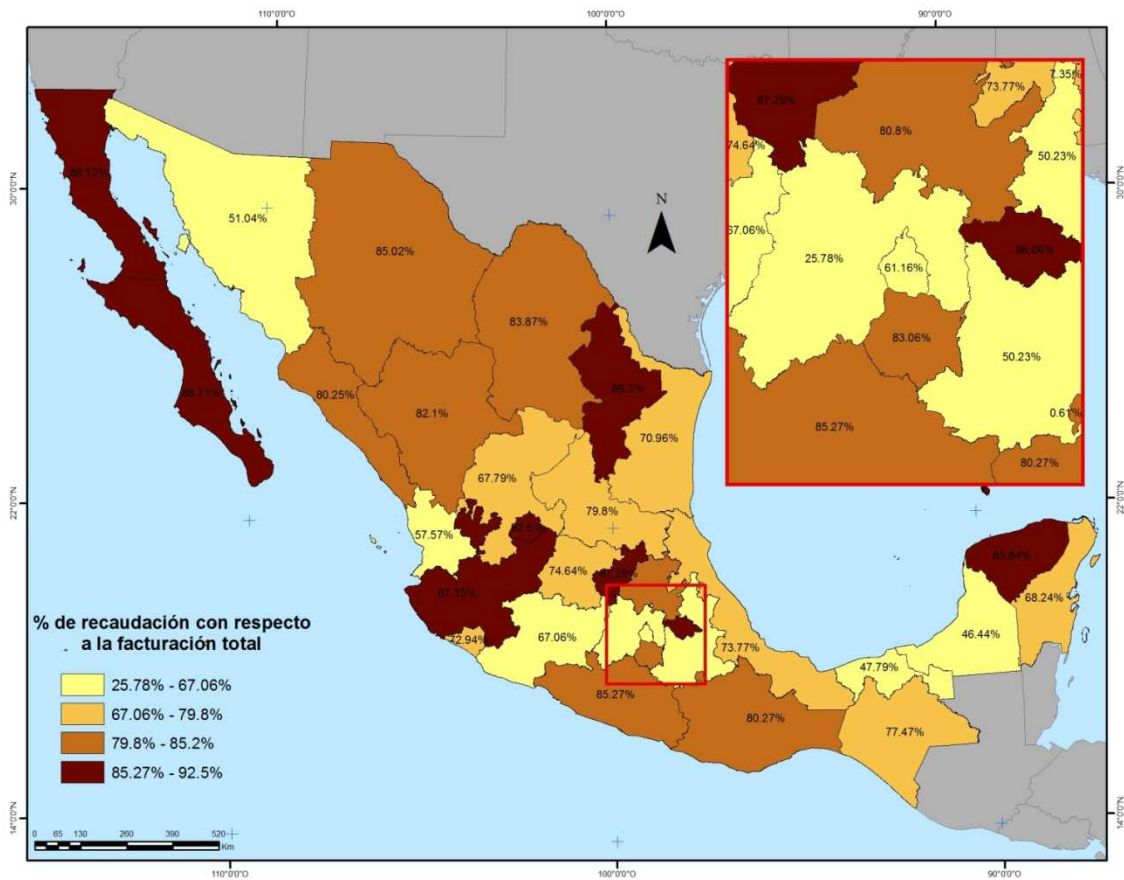
	Número de hogares	Porcentaje del total de hogares
Prestación directa	17366653	59.7%
Convenio con el estado	4591577	15.8%
Asociación intergubernamental	1868263	6.4%
Concesión a particulares	894018	3.1%

Colaboración con comunidad	342558	1.2%
Convenio con la federación	234606	0.8%
Otros	1501156	13.0%
Total	29074332	1.0

**Cuadro 1.** Arreglos institucionales para la prestación del servicio de agua potable (2009). Fuente: Inegi (2009)

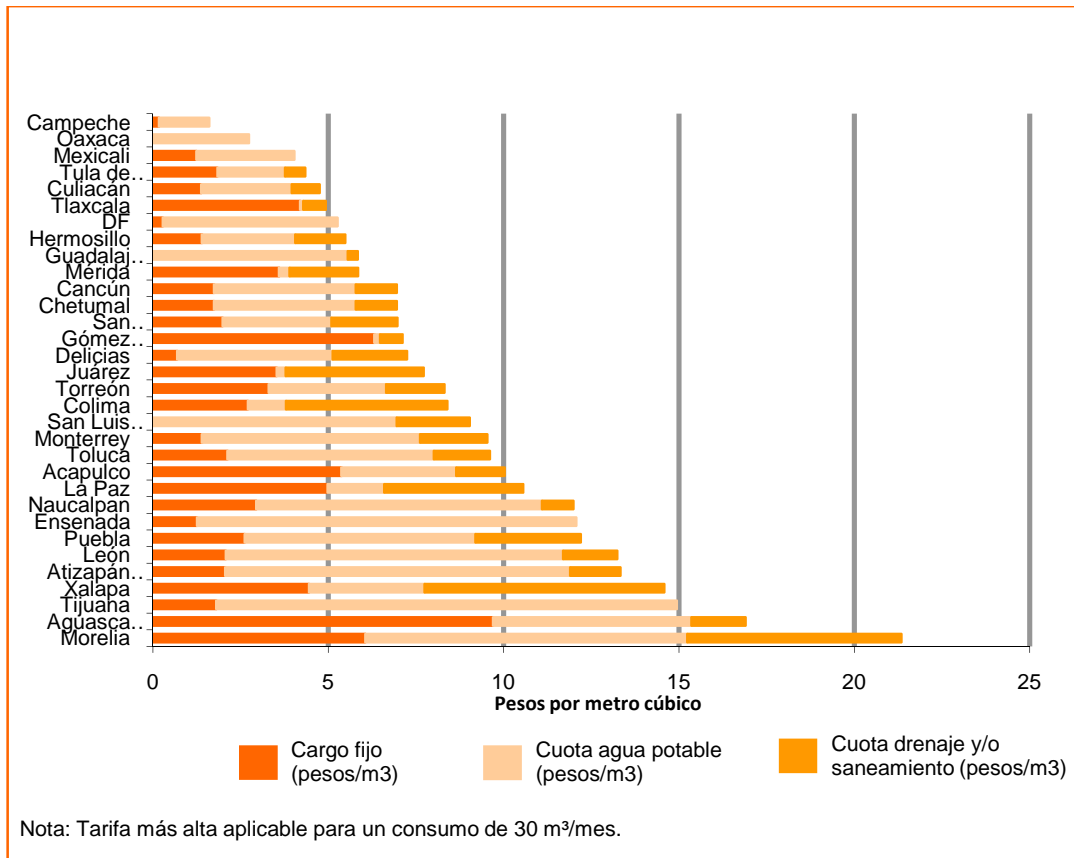
Las diversas estructuras tarifarias también se han modificado de acuerdo a las tendencias administrativas predominantes en una época. Durante el periodo en que los servicios permanecieron centralizados en el Gobierno Federal prevaleció la idea de que el agua era un derecho humano básico, y que por consiguiente debería ser provisto por el Estado a un costo bajo o nulo (Pimentel-Marañón 2002). Por esta razón, en muchas ciudades del país los hogares pagaban una cuota fija subsidiada. Además, no existían salvaguardas legales para hacer obligatorios los pagos y la existencia de medidores en las tomas domiciliarias era prácticamente inexistente (Pimentel-Marañón 2002). Esto desincentivaba enormemente un uso racional del recurso por parte de los consumidores y dificultaba enormemente la generación de ingresos propios para los proveedores. Con el giro hacia la creación de organismos operadores se realizan importantes cambios en la legislación en referencia a las tarifas. La primera de ellas es que los consejos administrativos de los mismos organismos puedan determinar la estructura tarifara a cobrarse por los usuarios, basándose en criterios técnicos, ya que anteriormente esta labor recaía en las legislaturas locales donde la decisión obedecía a criterios políticos (Pimentel-Marañón 2002). Asimismo, se aprobaron legislaciones para facultar a estos organismos para suspender o reducir el servicio en caso de falta de pago (Pimentel-Marañón 2002). Finalmente, se emprendieron ambiciosas estrategias para la instalación de medidores en las tomas domiciliarias (Pimentel-Marañón 2002).

Sin embargo, no en todos los casos estas líneas de acción fueron exitosas. Por ejemplo, en el Estado de México la instalación de medidores ha sido un proceso por demás problemático; la estructura tarifaria es altamente regresiva y el padrón de consumidores es poco confiable (Pimentel-Marañón 2002). Como se muestra en el siguiente Mapa, el promedio de los municipios conurbados de la Zona Metropolitana del Valle de México no alcanza a recaudar más de 67% del total del agua que factura. Esto contrasta con varios estados del centro norte de la república como Baja California, Baja California Sur, Nuevo León, Aguascalientes y Jalisco, donde la recaudación es en promedio superior a 85% del total facturado. Incluso en términos menos estrictos, en los Estados del norte del país, los promedios de recaudación nunca son inferiores a 70% de la facturación, lo cual sugiere que la escasez natural del agua pudiera estar correlacionada con la presión que ejercen los organismos operadores para cobrarla. Esta relación puede explicarse porque en zonas donde el agua es poco abundante se requieren mayores inversiones infraestructura y tecnología para aprovechar las fuentes disponibles, por ejemplo al perforar un pozo a mayor profundidad o bien construir y operar una planta desalinizadora.



**Mapa 1.** Porcentaje promedio estatal de recaudación con respecto a la facturación de los organismos operadores. Fuente: Conagua (2011)

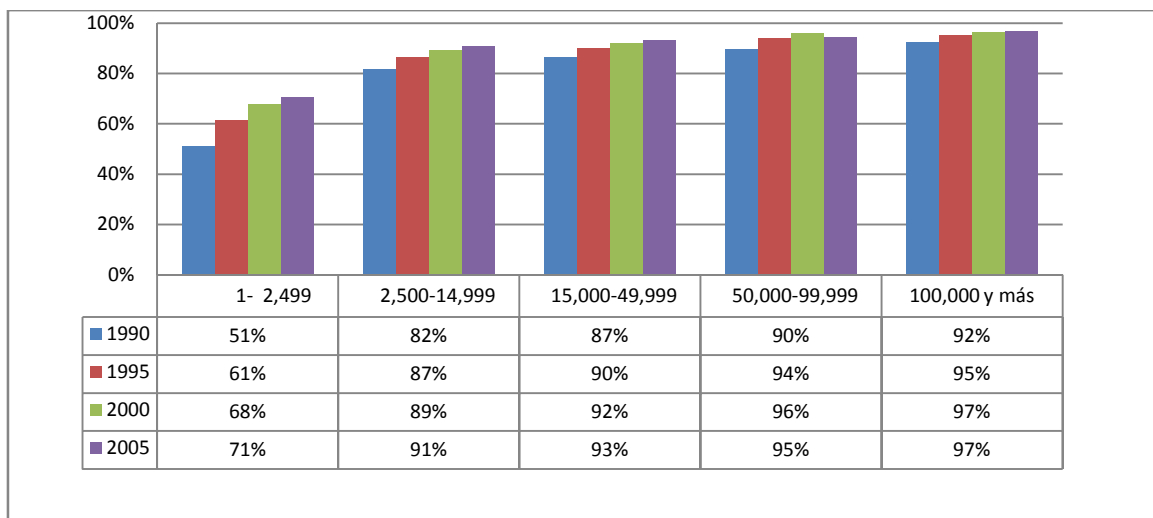
El hecho de que las tarifas sean altas no refleja necesariamente la magnitud del costo que enfrenta el consumidor final, ya que esto depende de las capacidades técnicas e institucionales de cobro que tenga un organismo operador. Por ejemplo, como se muestra en el siguiente Gráfico, la ciudad de Morelia tiene una de las tarifas más altas del país; sin embargo, el porcentaje de recaudación es en promedio muy bajo en todo el Estado de Michoacán, lo cual podría implicar que los hogares no se ven forzados a cubrir este costo. No está claro cómo se determinan las tarifas y la estructura tarifaria. Incluso los datos no muestran ninguna tendencia clara si se realiza algún cruce con variables como la disponibilidad natural per cápita en la zona del país en la que se encuentran dichas ciudades. Por esta razón, se vuelve pertinente realizar un análisis partiendo de los costos que efectivamente desembolsan los consumidores y con ello tener una visión más precisa de los precios del agua potable en el país.



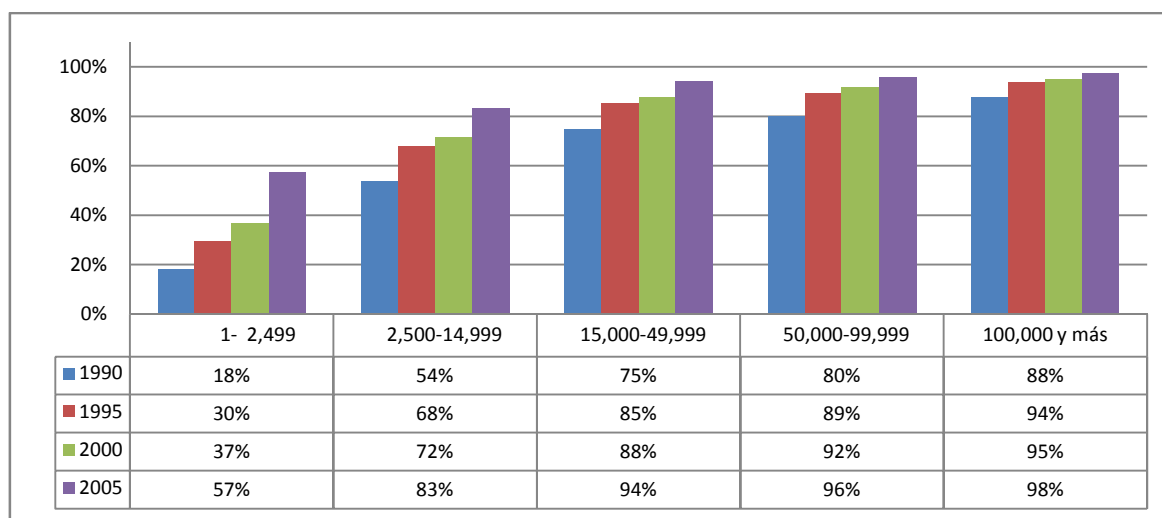
**Gráfico 2.** Tarifas y cargos de agua potable para diversas ciudades del país. Fuente: Conagua (2011)

Los resultados de estas inversiones y estrategias han sido relativamente exitosas, al menos en lo de que se refiere a cobertura: de acuerdo a datos del Inegi (2012), el porcentaje de hogares con acceso al servicio de agua entubada pasó de 80 a 88% entre 1990 y 2010, mientras que para los servicios de drenaje el porcentaje de cobertura pasó de 62 a 89% para el mismo periodo. Ambos han sido avances en dos objetivos prioritarios de la política hídrica nacional; sin embargo esconden importantes diferencias entre ciudades grandes y poblaciones pequeñas, así como a elementos que afectan significativamente el bienestar de los consumidores como es la calidad la de los servicios (sobre todo en lo que se refiere a la continuidad y la calidad del flujo de agua) y la asequibilidad de éstos. México cuenta con un nivel de cobertura bastante aceptable en las ciudades grandes, donde prácticamente se llega a 100%. Sin embargo, cuando se examina la definición de lo que las autoridades entienden por cobertura<sup>1</sup> se debe hacer una primera advertencia a tomar con cautela este indicador, ya que tener una cobertura de 100% no equivale necesariamente a que el total de las viviendas estén conectadas a la red de suministro. La cobertura ha venido creciendo de manera importante, sobre todo en lo que se refiere a poblaciones pequeñas (con menos de 50 mil habitantes), pero es todavía insuficiente. Como muestra el siguiente gráfico, los núcleos de población con menos de 2,500 habitantes tienen una cobertura menor 71% de los hogares.

<sup>1</sup> La Cobertura se define como “porcentaje de la población que habita en viviendas particulares que cuenta con agua entubada dentro de la vivienda, dentro del terreno o de una llave pública o hidrante” (Conagua, 2011)



**Gráfico 3.** Cobertura de agua potable en México por tamaño de localidad. Fuente: Conagua (2011)



**Gráfico 4.** Cobertura de drenaje en México por tamaño de localidad. Fuente: Conagua (2011)

De manera casi paralela el acceso a drenaje ha crecido de forma importante durante los últimos veinte años. Sin embargo, resulta alarmante que para 2005 entre 40 y 17 % de la población en localidades de 1 a 15,000 habitantes, no contaran con este servicio. Por el contrario, los núcleos de población con más de 100 mil habitantes pasaron de 88% a la cobertura universal entre 1990 y 2005. Las localidades rurales han tenido un crecimiento importante en este periodo pero aún persiste una importante brecha por cerrar. De hecho, 17% de los hogares ubicados en asentamientos con una población menor a 15 mil habitantes no goza de este servicio (Ver Gráfico 4).

La infraestructura hidráulica no solamente tiene un efecto en la cobertura de servicios, sino que también incide sobre su calidad. Existen al menos dos tipos de infraestructuras indispensables para generar estándares mínimos de consumo de agua potable, así como del desecho de aguas residuales. En primer lugar están las plantas potabilizadoras, las cuales suman poco más de 500 operando en el país. De acuerdo con los datos más recientes de la Conagua (2011), la capacidad total de las plantas instaladas es de alrededor de 125m<sup>3</sup> por

segundo, pero el caudal efectivamente potabilizado es de tan sólo 82m<sup>3</sup>/segundo, es decir sólo se utiliza alrededor de 66% de la capacidad instalada. Finalmente, se debe destacar el crecimiento del caudal potabilizado, que de acuerdo a la Conagua (2011), para 1996 era sólo de 72m<sup>3</sup>/segundo y en la actualidad es de 8,282m<sup>3</sup>/segundo.

El correcto manejo de las aguas residuales es fundamental para mantener el equilibrio ecológico de una región. En México, al tema del saneamiento se le relegó como algo intrascendente durante mucho tiempo. Sin embargo, en la actualidad la Conagua ha promovido la construcción de infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales, ya que anteriormente éstas se descargaban en cuerpos de agua superficial, provocando su contaminación y la posterior infiltración de estos contaminantes hacia el subsuelo. Recientemente, el gobierno mexicano ha venido impulsando la instalación de este tipo de infraestructura y en la actualidad se tienen alrededor de 2 mil pantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales tienen un promedio una capacidad instalada de 9.3 m<sup>3</sup>sobre segundo, la cual aprovechan en 72%.

Todo lo anterior da cuenta de una importante orientación de la política hídrica mexicana hacia la búsqueda de dos objetivos fundamentales: por un lado, el acceso universal a agua potable y alcantarillado mediante el despliegue, mantenimiento y modernización de la infraestructura hidráulica; y por otro, el aumento de la eficiencia en la gestión de los servicios mediante la descentralización, la autonomía y la capacidad de cobro de los organismos operadores. No obstante los logros alcanzados, sostenemos que existe una agenda pendiente de temas que pudieran ser considerados de “segunda generación” y que refieren a la calidad y continuidad del servicio, la eficiencia y transparencia de la gestión y a la creación de estructuras tarifarias económicamente sostenibles, que al mismo tiempo que incentivan el uso racional sean asequibles para todos los consumidores.

## 2 LA DIMENSIÓN ASEQUIBILIDAD

Hasta hace poco, los gobiernos alrededor del mundo parecían estar ensimismados en una única dimensión del acceso a agua potable: el despliegue masivo de redes y la conexión del mayor número de hogares (OECD 2003; M. D. L. Á. García-Valiñas, Martínez-Espiñeira, and González-Gómez 2010; Wescoat, Headington, and Theobald 2007). Los resultados fueron notables, ya que de acuerdo a diversos datos y reportes, durante las décadas de los ochenta y noventa la infraestructura hidráulica creció de manera acelerada, alcanzando tasas de cobertura muy cercanas al cien por ciento, sobretodo en el contexto urbano de los países en vías del desarrollo (Wescoat, Headington, and Theobald 2007; CNA 2011; OECD 2003; Lentini 2011; Rivera 1997). Sin embargo, este acceso trajo aparejado una serie de retos como son la continuidad del servicio, su provisión dentro de ciertos estándares de pureza e higiene, su adecuado tratamiento una vez que ha sido aprovechada y la asequibilidad de sus tarifas, esto último de particular importancia para los hogares de menores ingresos. La asequibilidad constituye otra dimensión del acceso universal y del derecho humano al agua que hasta ahora ha sido poco analizada (Fankhauser & Tepic, 2007; M. D. L. Á. García-Valiñas et al., 2010; M. a García-Valiñas, Martínez-Espiñeira, & González-Gómez, 2010;; Wescoat et al., 2007) y que, en términos generales, puede definirse como “la capacidad que tiene un consumidor para pagar un nivel básico o mínimo de cierto bien o servicio, por lo que puede ser medida mediante el porcentaje del ingreso que dedica un hogar al pago de dicho servicio” (Fankhauser & Tepic, 2007:1039).

La medición de la asequibilidad de servicios básicos para la población, como son como el agua, la electricidad, las telecomunicaciones o la vivienda ha gozado de un renovado interés por parte de algunos estudiosos (Fankhauser and Tepic 2007; OECD 2003; Bitrán 1999; Pimentel-Marañón 2002; Lee 2011). Esto se debe a que los desembolsos realizados por el estado para el despliegue de nueva infraestructura en muchos casos

se realizaron con cargo a los consumidores mediante incrementos constantes en las tarifas (OECD 2003; Bitrán 1999). Una de las políticas más socorridas para el financiamiento del crecimiento y modernización de las redes fue la denominada “recuperación completa de costos” mediante la cual las tarifas eran diseñadas con la intención de recuperar una importante serie de costos derivados de la instalación y mantenimiento infraestructura, la operación y el daño ambiental (Fankhauser and Tepic 2007). Aunado a lo anterior, se impulsaron modelos de privatización y coinversión con privados en no pocas ciudades de los países en vías del desarrollo (Bitrán 1999; Rivera 1997; Lee 2011; Hernández-Téllez and Villagómez 2000), lo cual reafirmó los ajustes tarifarios en búsqueda de la eficiencia económica como objetivo principal rezagando, en muchos casos la equidad.

Existen dos trabajos en los que se define la asequibilidad del servicio de agua potable y se construyen una serie de mediciones para operacionalizar dicha definición el primero es el de Klugman (2002), editado por el Banco Mundial y el de la OCDE (2003). En estos trabajos, por vez primera, dos organismos internacionales ponen especial atención en el problema que puede significar que ciertos grupos de consumidores, aún estando conectados a la red de agua potable pudieran tener una insuficiente capacidad de pago para solventar el servicio. La OCDE analiza la asequibilidad desde dos dimensiones: una macro donde se observa la magnitud del gasto en agua de la totalidad de los hogares en un país con respecto a sus niveles de ingreso; y otra, micro, donde analiza esta magnitud del gasto con respecto al ingreso, pero desagregándola y comparándola de acuerdo a los tipos hogares, las regiones y grupos de ingreso. En este mismo trabajo, se define un umbral de asequibilidad, en la cual un hogar que destina más de 3% de su ingreso total a agua, puede considerarse como un hogar que sufre pobreza hídrica. En el de Klugman (2002), este umbral se establece en una banda que va de 3 a 5% del ingreso.

Siguiendo esta misma línea, en el trabajo de Fankhauser & Tepic (2007) se realiza un comparativo internacional de la asequibilidad de tres servicios básicos: la electricidad, el agua y la calefacción. En este trabajo se revisan los ratios o tasas de asequibilidad para cada uno de estos servicios propuestos por diferentes organismos internacionales como la OCDE ó el Banco Mundial y se encuentra que para la electricidad o la calefacción si el costo no supera más de 15 ó 20% del total de los ingresos hogar, se pueden aceptar como servicios asequibles, mientras que para el caso del agua esta magnitud no debe superar de entre 3 y 5% del ingreso de un hogar. Adicionalmente, en base a encuestas de ingresos y gastos de los hogares en países de Europa del Este encuentran que en promedio, los deciles de ingresos más bajos no superan el umbral de 3% propuesto por la OCDE. Por el contrario, los umbrales de 15 y 20% sí se superan en los servicios de electricidad y calefacción para los hogares más pobres.

Otro trabajo similar es el propuesto por Wescoat et al. (2007) donde se critica la política de agua potable desarrollada en Estados Unidos, la cual se concentró fundamentalmente en el acceso a las redes de agua potable, relegando la asequibilidad en un segundo término. En este caso, se realiza un análisis desde la dimensión micro y se encuentra que cierto tipo de hogares son mucho más tendientes a estar por encima del umbral de asequibilidad que otros, particularmente los hogares con menor nivel de estudios y de alguna minoría étnica como hispanos o afroamericanos. Otro factor interesante que influye en el alcance de este umbral es el hecho de que los hogares se encuentren ubicados en áreas rurales o ciudades pequeñas. Sin embargo, este trabajo realiza sólo asociaciones estadísticas sin un esfuerzo por medir el nivel de impacto que tienen cada uno de estos factores.

Hasta este punto, las investigaciones se quedan sólo en la definición de asequibilidad y pobreza hídrica, así como la aplicación de dichos conceptos a casos específicos. Sin embargo, no se explora a profundidad las posibles causas por las que un hogar pudiera caer por encima de este umbral de asequibilidad hídrica. En este sentido, los trabajos de M. D. L. Á. García-Valiñas et al. (2010) y M. a García-Valiñas et al.(2010) tienen un importante valor agregado, ya que en ellos se exploran algunas de las variables más importantes para determinar si la provisión de agua es o no asequible para diferentes grupos de ingresos en el caso español. En el primero de ellos se construye una propuesta novedosa para medir la asequibilidad, la cual consiste en observar qué

porcentaje del ingreso debe destinar un hogar para adquirir una cantidad básica de agua (en este caso 100 litros). En este trabajo se resalta la magnitud de las tarifas cobradas por el organismo proveedor del servicio como el elemento clave que explica el que se rebase cierto umbral de ingresos.

En el segundo trabajo, se realiza un análisis más completo el cual comprende una estimación econométrica de la demanda de agua. Con esta estimación se define un umbral de pobreza hídrica al estimar la región inelástica de la demanda. Es decir se obtiene la cantidad de agua que consume un hogar en promedio independientemente de las tarifas, la cual es de 128 litros diarios por hogar. Una vez hecho esto se analiza cuáles hogares caen por debajo o encima del umbral de 3% propuesto por la OCDE. Lo anterior se realiza analizando las tarifas de agua de cada municipalidad que forma el universo de estudio. Al final se concluye, que no obstante el reducido número de hogares que caen por encima de ese umbral la estructura tarifaria tiene un enorme peso en determinar cuáles municipios tienen un mayor número de observaciones por encima de este umbral. Algunas de las variables significativas para estimar la función de demanda son: las características geográficas del municipio donde se ubica el hogar, el tipo de proveedor del servicio, la estructura tarifaria, el nivel de ingreso promedio de los hogares, los niveles educativos, etc.

Uno de los trabajos más completos sobre asequibilidad de los servicios de agua es sin duda el desarrollado por Reynaud (2010). Este estudio toma como base las encuestas de ingreso gasto de los hogares en Francia y se corre un modelo de tipo Probit para analizar los determinantes del hecho de que un hogar se encuentre por debajo de la línea de asequibilidad de agua. Esta línea de asequibilidad está definida por el hecho de que un hogar destine más de 3% de su ingreso al servicio de agua. En este modelo se incluyen como variables independientes el número de miembros del hogar, el sexo, la edad y el nivel de estudios del jefe del hogar y si se reciben subsidios o programas gubernamentales. Otras variables de carácter institucional que también se incluyen son: el esquema de precios adoptado y si el servicio es provisto por un organismo privado o público. Esta última variable tiene una enorme importancia en el contexto francés, donde cerca del 80% de los organismos son de carácter privado. La principal conclusión de este trabajo es que el hecho de que el organismo sea operado de manera privada sí impacta negativamente la probabilidad de que un hogar de bajos ingresos pague más de 3%.

Además de los estudios que se concentran en la asequibilidad del servicio, existe un gran número de trabajos que buscan modelar la demanda de agua de tipo residencial. Estos trabajos son de gran utilidad para definir algunos factores de tipo socioeconómico e institucional que determinan la proporción del gasto destinada a este servicio, los cuales pueden complementar muy bien a los estudios que se concentran sólo en asequibilidad y que se han presentado hasta este punto. Uno de los el de Hoffmann, Worthington, & Higgs (2006) donde se realiza una estimación de la función de la demanda de los hogares en la ciudad de Brisbane, Australia. En este trabajo se define un modelo econométrico cuya unidad de análisis son los suburbios de la ciudad. El consumo promedio los suburbios es la variable dependiente de este modelo y las variables independientes son el precio del agua por kilolitro, el ingreso promedio de los hogares en el suburbio, el tamaño promedio de los hogares, el número de días lluviosos y el número de días calurosos. Se especifican dos tipos de modelos, uno con una regresión lineal y otro del tipo log log, el cual brinda las elasticidades de manera directa. El resultado más importante de este trabajo es el hecho de que la elasticidad precio de la demanda es inelástica, pero no tanto como se ha pensado, lo cual puede indicar que un aumento de precio puede ser un mecanismo efectivo para disminuir el consumo de agua a nivel residencial, pero debe tenerse en cuenta de que esta medida tomará tiempo para dar resultados. Finalmente, se reconoce que ciertos factores no controlables pueden influir de manera importante en el consumo de agua con aumentos significativos en los días calurosos y secos.



Otro estudio que busca modelar la demanda de agua es el desarrollado por Mazzanti & Montini (2006) sobre el consumo de agua en las municipalidades italianas de la región de Emilia-Romagna. La unidad de análisis son 125 municipalidades dentro de esta región, tomando como variable dependiente el consumo de agua per cápita de cada municipalidad. Las variables independientes son las tarifas, el nivel de ingreso, la población, la densidad de población, el tamaño de la vivienda, la edad de la población y las características del terreno. Se utiliza un modelo de datos en panel en el periodo de 1998 a 2002. En esta región la tarifa es creciente en bloques, por lo que para tratar la no linealidad se toma sólo un precio, el de la tarifa del bloque mediano. Los resultados de este estudio son que el agua tiene en general una elasticidad precio alta de entre 0.99 – 0.33, pero sin ser significativamente diferente de uno, mientras que la elasticidad ingreso es relativamente menor, de entre 0.40 y 0.71. La implicación de política más importante de estos resultados es el hecho de los ajustes en el precio pueden ser mecanismo efectivo para disminuir el consumo.

Otro trabajo que también utiliza datos panel es el de Arbues & Villanues (2006) el cual utiliza datos de la municipalidad de Zaragoza en España para el periodo comprendido entre 1996 a 1998. En este caso la variable dependiente es el volumen consumido por cada hogar, mientras que las variables independientes son el precio del agua, las temperaturas diarias durante el periodo, el nivel educativo de las personas que viven en el hogar, el número de miembros del hogar y hecho de que se cuente con un calentador en el edificio donde están ubicados los hogares. Los autores aplican diferentes especificaciones para la función de demanda, pero al final el modelo lineal es el que mejor ajusta a los datos con el que se encuentra elasticidad precio baja y una elasticidad ingreso baja también. Sin embargo, ellos hacen mención de que esto puede deberse a que el precio del servicio es excesivamente bajo por lo que representa un porcentaje muy pequeño del ingreso de los hogares, lo cual podría estar causando una distorsión en la percepción de los precios del mercado. Finalmente, varios estudios (Bae 2007; Furlong 2010; Reynaud 2010) han comenzado a analizar cómo el contexto institucional afecta los niveles de demanda de agua a nivel residencial, aunque aún con resultados poco concluyentes.

En resumen, los estudios analizados en esta sección ofrecen dos tipos de variables que inciden sobre el consumo de agua potable a nivel residencial: tarifarias, geográficas, climatológicas, socioeconómicas e institucionales. Las geográficas y climatológicas son todas aquellas relacionadas con la disponibilidad natural de agua, las temperaturas, los niveles de precipitación pluvial y la altitud del terreno entre los más importantes. Las variables socioeconómicas son todas aquellas relacionadas con las características del hogar como son la educación, el sexo del jefe del hogar y el nivel de ingresos entre otras, mientras que las variables de tipo institucional tienen que ver con el estatus público o privado del organismo operador, así como su estructura tarifaria. Otra variable que debería ser considerada, dado el contexto de debilidad institucional de los países de América Latina tiene que ver con la capacidad que tienen los sistemas administrativos de agua potable para recaudar efectivamente, debido a que, como ya se apuntó anteriormente, tarifas más altas no necesariamente reflejan el cobro real de los servicios. De acuerdo, Reynaud (2010) con este autor, la educación y el nivel de ingresos influirán de manera negativa en el hecho de que los hogares superen este umbral de asequibilidad. Es decir, que entre mayor sea el nivel de ingresos del hogar, así como sus niveles educativos, tendrá una probabilidad menor de sobrepasar el umbral de 3% propuesto por la OCDE. Por el contrario, mayores tarifas, mayor número de dependientes económicos, menor disponibilidad natural de agua, así como el hecho de que el operador sea privado, tenderán influir positivamente a que el hogar en cuestión supere esta línea de asequibilidad.

#### 4 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Con la intención tener una primera aproximación sobre el problema de la asequibilidad del agua potable en México, se procedió a construir dos modelos que reflejen el efecto de algunas de las variables utilizadas en otros estudios sobre el hecho de que un hogar supere los umbrales de asequibilidad propuestos por la OCDE (3%) y el Banco Mundial (5%). Para esto, construimos una base de datos a partir de la fusión de tres fuentes: en primer lugar, la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares Mexicanos (ENIGH), para el año de 2010, así como la Encuesta Nacional de Gobierno, Seguridad Pública y Justicia Municipal (ENGM), la cual sólo está disponible para el año de 2009. Además, una variable de corte institucional, se obtiene a partir del informe de la Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, publicado por Conagua en 2011. Con base en la primera encuesta se construyeron las variables de asequibilidad para ambos modelos y las variables socioeconómicas, mientras que de la segunda y tercera se obtuvieron variables de tipo institucional: el tipo operador de agua que se tiene, ya sea público o privado y la capacidad recaudatoria de los organismos operadores, respectivamente. Para tener un proxy de los niveles de disponibilidad de agua a nivel regional, así como de las características geográficas y climatológicas se utilizaron las trece Regiones Hidrológico Administrativas de la Conagua (RHA), las cuales se presentan en el Anexo 2 de este trabajo. El emparejamiento entre Municipios y las RHA a las que pertenecen se realizó gracias a una base de datos desarrollada en Cotler (2010). Desafortunadamente, no fue posible encontrar suficientes observaciones relacionadas con tarifas, ya que la Conagua sólo publica las pertenecientes a una treintena de ciudades.

Las variables obtenidas aparecen en el siguiente Cuadro, así como el efecto esperado que tengan sobre el hecho de que se supere los umbrales de asequibilidad de 3 y 5% del total de los ingresos trimestrales del hogar. En el primer modelo, con la intención de observar la probabilidad de que se supere esta línea de asequibilidad, la variable dependiente tomará dos valores categóricos: 1 cuando el porcentaje total del gasto total trimestral del hogar supere 3% y 0 cuando no lo haga. El segundo modelo es análogo, tomando como base un nivel de gasto superior a 5%.

Pretendimos desarrollar el modelo de Reynaud (2010) utilizando los datos que sí se encuentran disponibles para el caso mexicano, sustituyendo con algunas proxys aquéllos que no se encuentre disponibles y agregando una variable de tipo institucional que consideramos importante en el contexto de mexicano. De esta manera, tenemos tres tipos de variables. En el primer tipo tenemos el sexo y el estado civil del jefe del hogar, ya que se espera que los hogares con jefatura femenina y sin pareja tengan en general un nivel socioeconómico más bajo, lo cual aumentará significativamente la probabilidad de que rebasen más la líneas de asequibilidad. Asimismo, la edad del jefe del hogar también será una variable que juegue en contra de la asequibilidad, ya que hogares con jefes de familia mayores tenderán a tener un menor nivel socioeconómico. Por el contrario, se espera que la educación influya a favor de la asequibilidad por lo que su efecto se espera negativo. El nivel de ingresos del hogar influirá de manera negativa a que se supere el umbral de asequibilidad, ya que el gasto en el servicio de agua potable no debe representar un porcentaje demasiado elevado del total de ingresos cuando se tiene mayor capacidad económica. Con la intención de evitar posibles problemas de autocorrelación (ya que la variable dependiente es un porcentaje del gasto mensual) se decidió que la variable ingreso sea categórica, dando valor de 1 al hecho de que lo hogares pertenezcan al cuartil de ingresos más bajo por lo que se espera un signo positivo. Finalmente, para complementar lo anterior, se decidió medir el efecto del número de dependientes económicos con la intención de mejorar la variable del número de miembros del hogar, ya que aun y cuando un hogar tenga muchos miembros, muchos de ellos pueden aportar al ingreso total. Entre mayor sea el número de dependientes, aumentará la probabilidad de que el hogar supere el umbral propuesto. Este tipo de variables son de tipo socioeconómico.

En segundo lugar se agregaron dos variables de tipo institucional: por un lado, el hecho de que el organismo operador que sirve al hogar sea público o privado, considerando que éste último aumenta la probabilidad de que un hogar supera las líneas de asequibilidad de ambos modelos. Por el otro, la capacidad de recaudación que tienen los organismos operadores debería influir de manera positiva para que un hogar rebasa los umbrales de asequibilidad, ya que esto reflejará los costos efectivamente cobrados a los consumidores. Esta variable se construyó mediante el cociente del promedio total estatal de agua facturada entre el promedio total de la recaudación. Esta última variable es novedosa, ya este tipo de modelos generalmente han sido construidos con datos de países desarrollados con un alto grado de institucionalidad, por lo que casi la totalidad de la facturación se recauda.

Finalmente, en el tercer bloque se introducen variables de tipo geográfico y de disponibilidad natural. La primera de ellas es el tamaño de localidad, la cual puede tener un efecto puede en ambas direcciones, ya que en las ciudades más grandes por lo regular, el costo de la vida y los servicios es más alto, lo que afecta negativamente la asequibilidad, pero el nivel de ingresos es en general mucho mayor que en las poblaciones pequeñas, lo cual impacta en sentido contrario. Con la intención de observar el efecto de las características geográfico naturales se incluyen trece variables categóricas con cada una de las RHA definidas por la Conagua. Se espera que el hecho de que un hogar se encuentre en las RHA con mayor disponibilidad de agua (típicamente las regiones del sur) disminuirá su probabilidad de rebasar los umbrales de asequibilidad.

<b>Sigla</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Efecto esperado</b>
ppa	Línea o umbral de asequibilidad de agua	1=Pago de agua representa más del 3% del gasto monetario trimestral , 0=De otra forma. Análogo en el segundo modelo, pero con 5% del gasto monetario trimestral.	Variable dependiente
sex	Sexo del jefe(a) del hogar	1=Hombre, 0=Mujer	+
edad	Edad del jefe(a) del hogar	Edad en años	+
esco	Escolaridad del jefe(a) del hogar	Educación formal en años (ver apéndice "Escolaridad")	-
edo_con	Estado conyugal del jefa(a) del hogar	1=Casado(a) o vive en unión libre con su pareja, 0=En otro caso	-
percen	Cuartil de ingreso	1=Si el hogar pertenece al primer cuartil de ingreso, 0=De otra forma	+
dependientes	Dependientes económicos del hogar	Número de integrantes del hogar menos perceptores de ingreso	+
f_p_s	Forma de prestación del servicio de agua potable y alcantarillado	1=Concesión a particulares, 0=De otra forma	+
P_Fac_Rec	Nivel de recaudación del organismo operador	Cociente del promedio total estatal de facturación de agua entre el promedio total estatal de recaudación	+
tam_loc1	Tamaño de localidad	1=Localidad con población igual o superior a 100,000 habitantes, 0=De otra forma	Indefinida

<b>R1, R2,...,R13</b>	Regiones Administrativas de Conagua	Hidrológico de la	R4, R5, R10, R11 y R12	- y + en caso contrario
-----------------------	-------------------------------------	-------------------	------------------------	-------------------------

**Cuadro 2.** Variables de los Modelos 1 y 2 de asequibilidad hídrica. Fuente: Elaboración propia con base en Inegi (2009 y 2010), Conagua (2011) y Cotler, H. (2010)

A continuación se expresa de manera formal el modelo:

$$ppa = \beta_0 + \beta_1 * Sex + \beta_2 X * edad + \beta_3 * esco + \beta_4 * dependientes + \beta_5 * percen + \beta_6 * f_p_s + \beta_7 * P_Fac_Rec + \beta_8 * tam_loc1 + \beta_9 * R1 + \dots + \beta_{21} * R13$$

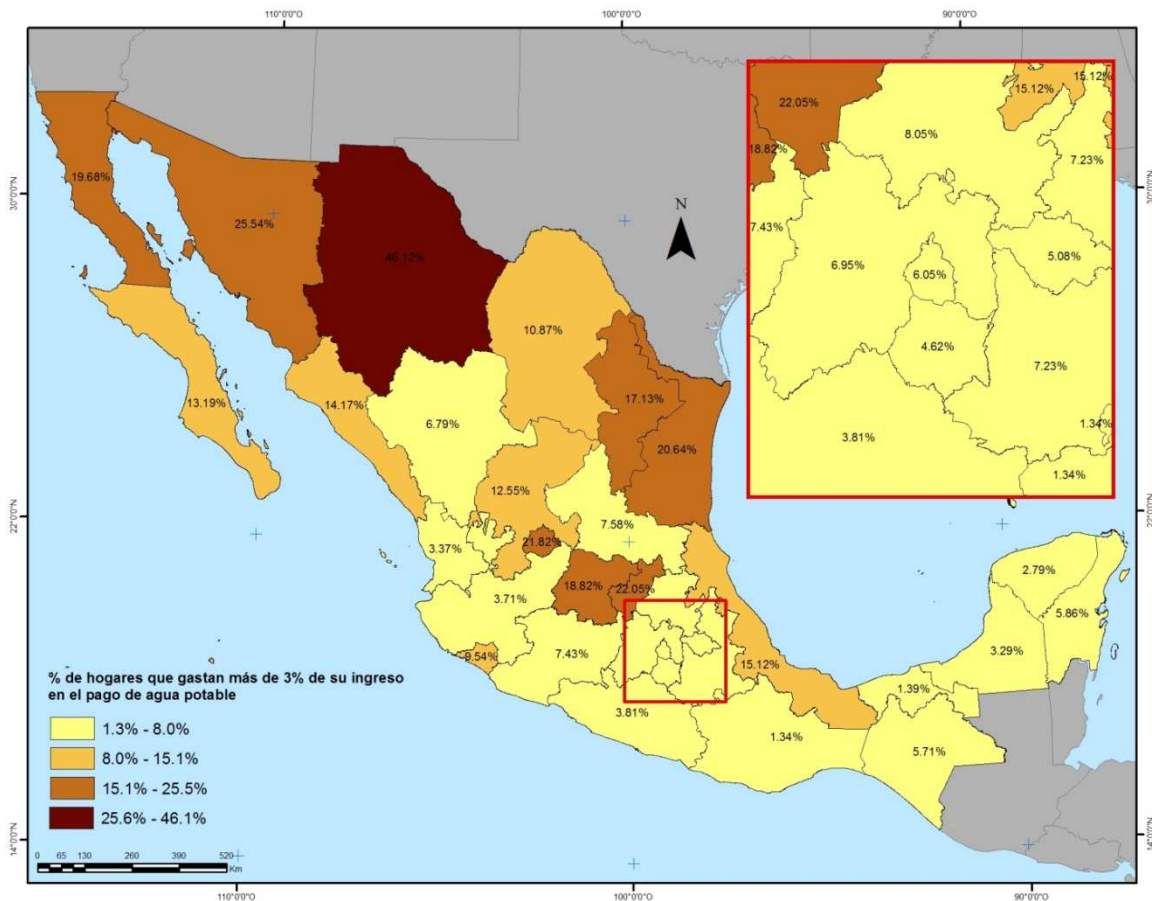
Asimismo, se realizó una breve exploración de los datos más importantes de la base de datos, mediante los cuales sabemos que la mayoría de los hogares mexicanos tienen una jefatura masculina. Se puede afirmar también que alrededor de 23% de los hogares se encuentra en el primer cuartil de ingresos y que un porcentaje muy pequeño recibe efectivamente la provisión del servicio por parte de un operador privado. Sabemos que la mitad de la población vive en grandes ciudades, con una población superior a los 100 mil habitantes y que alrededor de 11 y 4% de los hogares se encuentra por encima de los umbrales de 3 y 5% propuestos como variables dependientes en este trabajo.

<b>Sexo jefe(a) del hogar</b>		<b>Tamaño de localidad</b>	
Mujer	24.6	< 100,000 habitantes	49.5
Hombre	75.4	>= 100,000 habitantes	50.5
<b>Cuartil de ingreso</b>		<b>Forma de prestación del servicio de agua potable</b>	
2,3,4	77.2	Gubernamental	96.9
1	22.8	Concesionado a particulares	3.1
<b>Umbral de asequibilidad de 3%</b>		<b>Umbral de asequibilidad de 5%</b>	
Pago de agua es menor o igual a 3% del ingreso monetario	88.9	Pago de agua es menor o igual a 5% del ingreso monetario	95.9
Pago de agua representa más del 3% del ingreso monetario	11.1	Pago de agua representa más del 5% del ingreso monetario	4.1

**Cuadro 3.** Datos descriptivos de las variables. Fuente: elaboración propia con base en Inegi (2009 y 2010), Conagua (2011) y Cotler, H. (2010)

## 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y HALLAZGOS SOBRESALIENTES

Uno de los primeros hallazgos que más llama la atención es el hecho de que en el país existen alrededor de 3 millones de hogares que se encuentran por encima de la línea de asequibilidad<sup>2</sup> de 3% propuesta por la OCDE, lo cual significa que son poco más de 10% del total de hogares. Análogamente, alrededor de 1 millón y medio de hogares se encuentran por encima del umbral de 5% y que esto representa poco más del 4% del total. Al desagregar estos datos a nivel geográfico es posible observar cierta tendencia de los estados del norte a tener una mayor proporción de hogares por encima del umbral de asequibilidad de 3%, lo cual da indicios de que el costo del agua que pagan los consumidores domésticos sí refleja la escasez regional del recurso. Además, confirma la sospecha de que la tarifa oficial reportada por los organismos operadores no necesariamente refleja los costos reales que enfrentan los hogares.



**Mapa 2.** Porcentaje de hogares que superan el umbral de 3% del gasto total trimestral en agua.

Fuente: Elaboración propia con base en Inegi (2010)

Cuando se desagregan estos a datos a nivel de Cuartiles de ingreso, se observa que en el Cuartil 1 (el de menores ingresos) la proporción de hogares por encima del umbral de 5% es casi del doble que la de nivel

<sup>2</sup> Es importante acotar que para todas las estimaciones se utilizaron los factores de expansión, por lo que los resultados tienen el carácter de nacional.

nacional. En términos agregados, alrededor de 15% de los hogares más pobres en México tienen que dedicar más del 3% de su presupuesto trimestral al pago del agua. Conforme aumenta el ingreso, la proporción de hogares por encima de la línea de asequibilidad tiende a disminuir drásticamente. Esto da pie a pensar que el cobro de agua potable obedece a una lógica mucho más regresiva, donde los hogares más pobres, que regularmente presentan los menores niveles de consumo, tienden a enfrentar los costos más altos.

Cuartiles de ingreso	Umbral al 3%		Umbral al 5%		Total
	Bajo el umbral	Sobre el umbral	Bajo el umbral	Sobre el umbral	
1	5,605,072 84.6%	1,020,126 15.4%	6,069,149 91.6%	556,049 8.4%	6,625,198 100.0%
2	6,197,610 86.2%	989,333 13.8%	6,777,061 94.3%	409,882 5.7%	7,186,943 100.0%
3	6,766,771 90.6%	701,893 9.4%	7,208,965 96.5%	259,699 3.5%	7,468,664 100.0%
4	7,288,503 93.5%	505,024 6.5%	7,597,230 97.5%	196,297 2.5%	7,793,527 100.0%
<b>Nacional</b>	25,857,956 88.9%	3,216,376 11.1%	27,652,405 95.1%	1,421,927 4.9%	29,074,332 100.0%

**Cuadro 4.** Hogares que superan los umbrales de 3 y 5% propuestos para los modelos de asequibilidad. Fuente: elaboración propia con base en Inegi (2010).

Para probar el modelo se corrieron dos modelos del tipo probabilístico (Probit) donde se toman como variables dependientes el hecho de que el hogar supere o no los umbrales de asequibilidad. Las variables independientes son exactamente las mismas para ambos modelos. Como se muestra en el siguiente Cuadro, en modelo 1, todas las variables son estadísticamente significativas al 95%, a excepción del tipo de organismo operador. Sin embargo, esto cambia en el modelo 2 cuando se selecciona un umbral de 5% como variable dependiente, probablemente debido a la mayor diferenciación de entre hogares. En el modelo 1 todas las variables significativas aparecen con los signos esperados, sin embargo, cuando se “castiga” más el umbral de asequibilidad moviéndolo a 5%, dos variables aparecen con el signo contrario a lo esperado: el número de dependientes económicos y la capacidad de recaudación de los organismos operadores, pero el resto de las variables sí se comporta de acuerdo al modelo teórico. La variable del tamaño de localidad sí resulta significativa y con el mismo signo en ambos modelos, lo cual implica que si un hogar se ubica en una localidad con una población superior a 100 mil habitantes influye positivamente para que éste dedique más de 3% de su gasto al pago del servicio. El programa con el que se corrieron las regresiones omite la RHA XIII (Aguas del Valle de

México), por lo que los signos de las regiones más al sur en general presentan signos negativos, lo cual significa que tienen comparativamente una probabilidad menor de superar los umbrales. Esto se cumple para las R4, R5, R11 y R12. Sin embargo, la R10, la cual tiene una alta disponibilidad de agua aparece con el signo contrario en ambos modelos, lo cual puede estar influido por ciertas características institucionales, demográficas y de infraestructura, las cuales no hemos considerado.

Variable	Coeficientes de los modelos:	
	1	2
sex	-0.1198892	-0.1196519
edad	0.009201	0.0088694
esco	-0.0259752	-0.0213875
percen	0.3331199	0.4388523
dependientes	0.0053624	-0.0024368
bene_gob1	-0.2513091	-0.2662674
tam_loc1	0.3055111	0.2476298
P_Fac_Rec	0.2053513	-0.1647584
concesión_particulares	-0.000529 ***	0.0199261
R1	0.5538735	0.7031
R2	0.8772012	0.7359839
R3	0.3387096	0.3646882
R4	-0.0636749	-0.0319544
R5	-0.5401893	-0.5114902
R6	0.804114	0.8058768
R7	0.1158881	0.1969668
R8	0.2408821	0.299867
R9	0.300902	0.3337312
R10	0.4015431	0.4356282
R11	-0.1860086	-0.094346
R12	-0.2849287	-0.1583183
Cons	-1.97349	-2.230022
Log pseudolikelihood	-9010968.5	-5070159.4
Pseudo R2	0.1089	0.107
Correctly classified	88.95%	95.11%
Number of obs	29074332	29074332
*** Todos los coeficientes son significativos al 95% de confianza, con excepción del coeficiente correspondiente a la variable Concesión a Particulares en el Modelo 1.		

**Cuadro 5.** Coeficientes de los Modelos 1 y 2 de asequibilidad hídrica.

A continuación se realizó el cálculo de las derivadas parciales, donde se obtiene la probabilidad de ocurrencia de un evento (Cuadro 5). A continuación explicamos sólo los resultados del modelo 1, es decir donde se utiliza una línea de asequibilidad de 3%, ya que fue el que mejores resultados arrojó. Del análisis de los coeficientes asociados de dichas derivadas se puede afirmar lo siguiente:

- La variable “edad” indica que si el jefe(a) de hogar tiene un año más de edad, la probabilidad de superar el umbral de asequibilidad aumenta. El aumento estimado es de 0.14%.

- Como la variable “sex” es discreta y sólo toma el valor de 1 y 0, los valores de las derivadas parciales se interpretan así: si el jefe de hogar es hombre, la probabilidad de que el hogar supere el umbral de asequibilidad es 1.9% menor que cuando el hogar tiene una jefatura femenina. Es decir los hogares donde la mujer es la jefa del hogar tiene una probabilidad más alta de superar dicho umbral.
- Por cada dependiente económico del hogar la probabilidad (variable dependientes) de superar el umbral de asequibilidad aumenta en 0.08%. En otras palabras entre mayor número de dependientes económicos tenga el hogar será más probable que supere el umbral de asequibilidad.
- El coeficiente de la variable “percen” muestra que si el hogar pertenece al percentil 1, o sea el de menores ingresos la probabilidad de que éste supere el umbral de asequibilidad aumenta en 5%. Es decir, los hogares más pobres superarán este umbral de 5.9% con mucha mayor probabilidad que los de ingresos superiores.
- Además, de acuerdo con la variable “tam\_loc1”, si el hogar está ubicado dentro de una población con 100,000 ó más habitantes, la probabilidad de se supere el umbral de asequibilidad aumenta 4.8%. Es decir, si el hogar se encuentra en ciudades medias a grandes tendrá mayores probabilidades de destinar más de 3% de su ingreso al pago de agua. Esto apunta a que el problema de asequibilidad es primordialmente urbano.
- Por otra parte, cuando el promedio del cociente de facturación – recaudación aumenta en 1%, la probabilidad de que el hogar pase el umbral de asequibilidad aumenta 3.2 puntos porcentuales.
- Finalmente, el hecho de que un hogar se ubique en las RHA del sur del país, en general influye de manera negativa para que dicho hogar supere la línea de asequibilidad. Por ejemplo cuando el hogar se ubica en la R5 (Pacífico Sur) tiene una probabilidad 6% menor de superar el umbral, en comparación con la R13 (Aguas del Valle de México). Por el contrario, el hecho de que un hogar se encuentre ubicado en la R2 (Noroeste) incide en que éste una probabilidad 22% mayor que la R13 de superar el umbral de asequibilidad.

En resumen, las variables socioeconómicas que muestran un mayor impacto en la probabilidad de que un hogar supere el umbral de asequibilidad son: el cuartil de ingreso al que pertenece, lo cual da muestra de la regresividad de los cobros y una jefatura femenina, lo cual tiene interesantes implicaciones en temas de agua y género. En términos de las variables institucionales, el hecho de que los organismos operadores sean privados no tiene ningún efecto significativo estadísticamente, lo cual puede deberse a que la operación de organismos operadores que prestan el servicio directamente es la excepción y no la normalidad. Incluso en el modelo 2 cuando la variable es significativa y con el signo positivo, este efecto es muy pequeño: 0.15%. En cambio la variable sobre la intensidad de la recaudación sí arroja un coeficiente significativo y de magnitud importante: por cada punto porcentual que en promedio recaudan los organismos operadores, la probabilidad de que un hogar caiga por encima del umbral de asequibilidad aumenta, lo cual reafirma la regresividad de los cobros, ya que cuando éstos son efectivos el impacto sobre la superación del umbral de asequibilidad es relativamente alto y positivo. Finalmente, al analizar el efecto de las variables geográficas tenemos que en general las RHA del norte tienen un efecto positivo para inducir que un hogar supere la línea de asequibilidad. Este efecto es particularmente fuerte en las R2 (Noroeste), R6 (Río Bravo) y R1 (Baja California) que son regiones con una disponibilidad natural baja, altas temperaturas, baja precipitación pluvial y altamente dependientes del agua subterránea. Esta escasez natural probablemente influye en la necesidad que tienen los organismos operadores para invertir mayores recursos en infraestructura, lo cual se refleja en los costos transferidos a los consumidores.



El tamaño de localidad tiene un efecto positivo en el hecho de que se gaste más de 3% en el servicio, lo cual reafirma el carácter eminentemente urbano de esta problemática. Esto se debe probablemente a que son las grandes ciudades las que tienen la mayor capacidad institucional para medir, cobrar y sancionar la recaudación por concepto de pago de este servicio.

Variable	Coeficientes de los modelos:	
	1	2
sex	-0.0198686	-0.0096398
edad	0.0014631	0.0006755
esco	-0.0041305	-0.0016289
percen	0.0598204	0.0418639
dependientes	0.0008527	-0.0001856
bene_gobl	-0.0366021	-0.0179777
tam_loc1	0.0486452	0.0189315
P_Fac_Rec	0.032654	-0.0125483
concesión_particulares	-0.0000841	0.0015436
R1	0.1210703	0.094223
R2	0.2241649	0.1021954
R3	0.0659728	0.0376073
R4	-0.0097754	-0.0023771
R5	-0.0605625	-0.0255483
R6	0.1875518	0.1077132
R7	0.0197968	0.0176896
R8	0.0418944	0.0266611
R9	0.056977	0.0332187
R10	0.0792026	0.0459958
R11	-0.0264091	-0.0066608
R12	-0.0377301	-0.0105559

**Cuadro 6.** Derivadas parciales de los Modelos 1 y 2 de asequibilidad hídrica.

## 6 CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA

Las políticas hídricas en el mundo se han concentrado fundamentalmente en aumentar la extensión y modernización de la infraestructura hidráulica lo que constituye un progreso innegable en la búsqueda de la cobertura universal del servicio de agua potable. México no ha sido la excepción y los resultados son contundentes, ya que en la mayoría de las ciudades grandes o medias, el nivel de cobertura es casi del 100%. Sin embargo, otros problemas han pasado casi desapercibidos tanto para las autoridades como para la academia: uno de ellos es el problema de asequibilidad, el cual puede definirse como la incapacidad que tienen ciertos hogares para cubrir los costos derivados de este servicio. Prueba de lo anterior es que existen pocas estadísticas sistematizadas por la Conagua acerca de tarifas, estructuras tarifarias o subsidios al servicio de agua potable de los municipios mexicanos. El hecho de que cerca de 3 millones de los hogares en México tengan que destinar más de 3% de su ingreso en el pago del servicio de agua potable da cuenta de que no solo la construcción y el mantenimiento de la infraestructura es prioritaria para alcanzar la anhelada cobertura universal. El tema de las tarifas y la asequibilidad de los servicios debería estar dentro de la agenda pública en temas de agua.

Por esta razón, resulta especialmente interesante realizar una primera aproximación al problema de la asequibilidad del servicio de agua potable. Para ello se tomaron como base dos umbrales de asequibilidad propuestos por la OCDE y el Banco Mundial, los cuales afirman que porcentajes superiores a 3 y 5% del ingreso dedicados a cubrir el recibo del agua resultan demasiado oneroso para cualquier hogar, pero particularmente para los de menores ingresos. Realizarlo impuso una serie de retos metodológicos que tendrán que superarse en trabajos futuros. El más importante de ellos es el hecho de que las Regiones Hidrológico Administrativas son variables geográficas demasiado amplias y que capturan mucho otros efectos sociales e institucionales que no se encuentren medidos por el modelo, como puede ser el despliegue de infraestructura.

Sin embargo, se deben considerar algunos hallazgos interesantes partir de los modelos desarrollados en la presente investigación, sobretodo valorar ciertas pistas de cuáles son los principales determinantes de la probabilidad de que un hogar supere un umbral de asequibilidad. Sin duda alguna, las que tienen que ver con las características socioeconómicas, particularmente en lo que se refiere al cuartil de ingresos al que pertenecen tiene una mayor magnitud. Es claro que a menores niveles de ingreso, menor será la capacidad de pago del hogar y por lo tanto un mayor riesgo de superar el denominado umbral de asequibilidad. Asimismo, una jefatura femenina del hogar tiene un efecto importante sobre la asequibilidad, lo cual es trascendente para toda una línea nueva de estudios que han decidido analizar el efecto del genero sobre el acceso y gestión del agua.

Por el lado de las variables de tipo institucional, el efecto de que la provisión se brinde por parte de un operador privado no resulta estadísticamente significativo. Sin embargo, debe considerarse que sólo 3.1% del total de los hogares mexicanos sea provisto por privados por lo que se pierde el impacto en el modelo general. En cambio, el alcance de la recaudación por parte de los proveedores sí tiene un efecto positivo y significativo, al menos en el modelo 1, lo cual refuerza la importancia de los contextos institucionales tan heterogéneos de los países en vías del desarrollo, ya que existen operadores con mayores capacidades para ejercer y presionar por los cobros. Finalmente, es en las ciudades del norte del país donde el problema de la asequibilidad empieza a ser mucho más latente como dejan ver los signos de los coeficientes asociados a las RHA. Sin embargo, aún es necesario trabajar sobre esta variable, ya que no sólo incluye los efectos de la geografía del terreno sino otros de carácter más económico como puede ser la disponibilidad de infraestructura hidráulica.

Es pertinente poner mayor atención al problema de la asequibilidad de los servicios de agua potable, ya que como se discutió en este trabajo, el acceso a infraestructura es sólo una dimensión del problema. Una primera línea de acción debería ser habilitar un mayor volumen de información acerca de tarifas y subsidios de agua potable, ya que la información de la que dispone Conagua es todavía limitada. De la presente investigación se desprenden asimismo varias líneas de investigación que se deben seguir a futuro. Algunas de ellas son medir el efecto que tienen ciertos esquemas tarifarios sobre la asequibilidad. Asimismo, descomponer la variable de RHA en características geográficas y climatológicas a los modelos ya que conforme el agua se vuelva un bien más escaso, será más complicado asegurar tarifas asequibles y justas para todos los consumidores. El agua puede ser vista como un derecho humano que incide determinantemente sobre la vida y salud, lo cual implica estudiarla desde múltiples dimensiones que vienen aparejadas con el acceso a infraestructura hídrica.

## REFERENCIAS

- Arbues, Fernando, and Inmaculada Villanues. 2006. "Potential for Pricing Policies in Water Resource Management : Estimation of Urban Residential Water Demand in Zaragoza , Spain." *Urban Studies* 43 (13): 2421–2442.
- Bae, Suho. 2007. "Explaining Geographical Differences in Water Prices : Do Institutional Factors Really Matter ?" *Review Literature And Arts Of The Americas* 37 (2): 207–250.

- Bitrán, Daniel. 1999. "México: Inversiones En El Sector Agua y Saneamiento". Santiago de Chile.
- CNA. 2011. *Estadísticas Del Agua En México*.
- Conagua. 2011. *Estadísticas Del Agua En México 2011 Ciudad De México*. México DF: Comisión Nacional del Agua.
- Cotler, Helena. 2010. *Las Cuencas Hidrográficas De México. Diagnóstico y Priorización*. México DF: Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Rio Arronte.
- Fankhauser, Samuel, and Sladjana Tepic. 2007. "Can Poor Consumers Pay for Energy and Water? An Affordability Analysis for Transition Countries." *Energy Policy* 35 (2) (February): 1038–1049. doi:10.1016/j.enpol.2006.02.003. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421506000887>.
- Furlong, Kathryn. 2010. "The Contradictions in `Alternative ` Service Delivery : Governance , Business Models , and Sustainability in Municipal Water Supply." *Environment and Planning* 28 (June). doi:10.1068/c09122.
- García-Valiñas, María a, Roberto Martínez-Espiñeira, and Francisco González-Gómez. 2010. "Affordability of Residential Water Tariffs: Alternative Measurement and Explanatory Factors in Southern Spain." *Journal of Environmental Management* 91 (12) (December): 2696–706. doi:10.1016/j.jenvman.2010.07.029. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20709443>.
- García-Valiñas, María De Los Ángeles, Roberto Martínez-Espiñeira, and Francisco González-Gómez. 2010. "Measuring Water Affordability: A Proposal for Urban Centres in Developed Countries." *International Journal of Water Resources Development* 26 (3) (September): 441–458. doi:10.1080/07900627.2010.491971. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900627.2010.491971>.
- Hernández-Téllez, Carlos Javier, and Alejandro Villagómez. 2000. "Participación Del Sector Privado En Servicios Municipales: El Agua Potable." *Gestión y Política Pública* IX (2).
- Hoffmann, Mark, Andrew Worthington, and Helen Higgs. 2006. "Urban Water Demand with Fixed Volumetric Charging in a Large Municipality : the Case Of." *Society*: 347–359. doi:10.1111/j.1467-8489.2006.00339.x.
- Inegi. 2009. "Encuesta Nacional De Gobierno, Seguridad Pública y Justicia Municipal." <http://www.inegi.org.mx/sistemas/microdatos2/DefaultGobierno.aspx>.
- . 2010. "ENIGH." <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/regulares/enigh/enigh2010/ncv/default.aspx>.
- . 2012. "Censo De Población y Vivienda 2010." <http://www.censo2010.org.mx/>.
- Jouravlev, Andrei. 2004. "Los Servicios De Agua Potable y Saneamiento En El Umbral Del Siglo XXI". CEPAL, Naciones Unidas.
- Klugman, Jeni. 2002. *A Sourcebook for Poverty Reduction Strategies*. Vol. 1. Washington, D.C: Banco Mundial.
- Lee, Cassey. 2011. "Privatization, Water Access and Affordability: Evidence from Malaysian Household Expenditure Data." *Economic Modelling* 28 (5) (September): 2121–2128. doi:10.1016/j.econmod.2011.05.003. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264999311001143>.
- Lentini, Emilio. 2011. *Servicios De Agua Potable y Saneamiento : Lecciones De Experiencias Relevantes*. Santiago de Chile: CEPAL, Naciones Unidas.
- Mazzanti, Massimiliano, and Anna Montini. 2006. "The Determinants of Residential Water Demand : Empirical Evidence for a Panel of Italian Municipalities." *Applied Economics Letters* (i): 107–111. doi:10.1080/13504850500390788.
- OECD. 2003. *Social Issues in the Provision and Pricing of Water Services*. Paris, Francia: OECD Publishing. doi:10.1787/9789264099890-en. [http://www.oecd-ilibrary.org/environment/social-issues-in-the-provision-and-pricing-of-water-services\\_9789264099890-en](http://www.oecd-ilibrary.org/environment/social-issues-in-the-provision-and-pricing-of-water-services_9789264099890-en).
- Pimentel-Marañón, Boris. 2002. "Las Tarifas De Agua Potable En La Zona Metropolitana De La Ciudad De México. 1992-2002: ¿Hacia Una Política De La Administración De La Demanda?"
- Pineda Pablos, Nicolas. 2002. "La Política Urbana De Agua Potable En México : Del Centralismo y Los Subsidios a La Municipalización , La Autosuficiencia y La Privatización \*." *Región y Sociedad* XIV (24).
- Reynaud, Arnaud. 2010. "Private Sector Participation , Regulation and Social Policies in Water Supply in France." *Development* 38 (2). doi:10.1080/13600811003753362.

Rivera, Daniel. 1997. *Participación Privada En El Sector De Agua Potable y Saneamiento Lecciones De Seis Países En Desarrollo*. Washington, D.C: Banco Mundial.

Sistema de Información de Agua Potable y Saneamiento. 2010. “Evolución De La Reglamentación De Aguas En México.” [http://siaps.colmex.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=71:evolucion-de-la-reglamentacion-de-aguas-en-mexico&catid=49:legislacion-del-agua&Itemid=95](http://siaps.colmex.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=71:evolucion-de-la-reglamentacion-de-aguas-en-mexico&catid=49:legislacion-del-agua&Itemid=95).

Wescoat, James L., Lisa Headington, and Rebecca Theobald. 2007. “Water and Poverty in the United States.” *Geoforum* 38 (5) (September): 801–814. doi:10.1016/j.geoforum.2006.08.007. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016718506001357>.

### ANEXO 1: BONDAD DE AJUSTE

Para elegir entre distintos modelos se utilizan medidas escalares como la  $R^2$ ; no obstante, el uso de la función de verosimilitud en la estimación de los modelos de elección discreta hace que la bondad del ajuste en estos modelos sea un tema controvertido, ya que no existe una interpretación tan intuitiva como en el modelo de regresión clásico, por ello se utilizan medidas de bondad de ajuste alternativas. La variable dependiente del modelo es binaria, es decir, cuenta con valores entre 0 y 1 que son discretos; sin embargo, la estimación de la misma mediante el modelo Probit genera valores continuos. De tal manera que el valor estimado es mayor o igual a 0.5, predice que son 1; mientras que si estima valores menores de 0.5, predice que son 0. Por lo tanto, existe un porcentaje de falla en la estimación. En el presente estudio, los siguientes cuadros permiten ver que 88.95% y 95.11% de las predicciones para los modelos 1 y 2 fueron correctas, es decir, se tiene un buen ajuste.

Cuadro A1.1. Bondad de Ajuste para el Modelo 1.

----- True -----			
Classified	D	~D	Total
+	55628	50660	106288
-	3160748	2.58e+07	2.90e+07
Total	3216376	2.59e+07	2.91e+07

Classified + if predicted  $\Pr(D) \geq .5$

True D defined as  $\text{ppa\_gasmon\_3} \neq 0$

Sensitivity	$\Pr(+ D)$	1.73%
Specificity	$\Pr(- \sim D)$	99.80%

Positive predictive value	Pr( D   +)	52.34%
Negative predictive value	Pr(~D   -)	89.09%
-----		
False + rate for true ~D	Pr( +   ~D)	0.20%
False - rate for true D	Pr( -   D)	98.27%
False + rate for classified +	Pr(~D   +)	47.66%
False - rate for classified -	Pr( D   -)	10.91%
-----		
Correctly classified		88.95%
-----		

**Cuadro A1.2. Bondad de Ajuste para el Modelo 2.**

----- True -----			
Classified	D	~D	Total
-----+-----+-----			
+	0	0	0
-	1421927	2.77e+07	2.91e+07
-----+-----+-----			
Total	1421927	2.77e+07	2.91e+07

Classified + if predicted Pr(D) >= .5

True D defined as ppa\_gasmon\_5 != 0

Sensitivity	Pr( +   D)	0.00%
Specificity	Pr( -   ~D)	100.00%
Positive predictive value	Pr( D   +)	.%
Negative predictive value	Pr(~D   -)	95.11%
-----		
False + rate for true ~D	Pr( +   ~D)	0.00%
False - rate for true D	Pr( -   D)	100.00%
False + rate for classified +	Pr(~D   +)	.%
False - rate for classified -	Pr( D   -)	4.89%

-----  
Correctly classified

95.11%  
-----

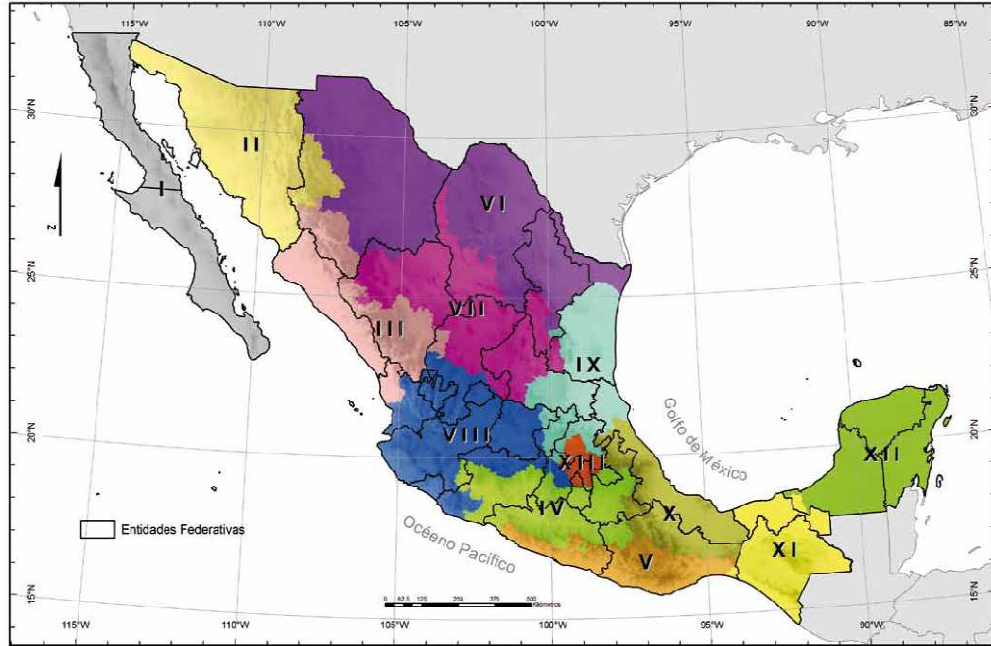
## ANEXO 2: REGIONES HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVAS DE MÉXICO

La Conagua ha dividido para efectos administrativos al país en trece regiones hidrológicas, las cuales se ubican en el territorio de la siguiente manera:

Cuadro A2.1. Regiones Hidrológico Administrativas de México.

Región Hidrológico Administrativa	
I	Península de Baja California
II	Noroeste
III	Pacífico Norte
IV	Balsas
V	Pacífico Sur
VI	Río Bravo
VII	Cuencas Centrales del Norte
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico
IX	Golfo Norte
X	Golfo Centro
XI	Frontera Sur
XII	Península de Yucatán
XIII	Aguas del Valle de México

Mapa A2.1. Regiones Hidrológico Administrativas de México.



# MANEJO Y APROVECHAMIENTO DEL NOPAL (*Opuntia spp.*) EN LA REHABILITACIÓN DE FUNCIONES DE LA MICROCUENCA LA JOYA

Ma. Elena LÓPEZ RAMÍREZ<sup>a</sup> [malelopezymar@hotmail.com](mailto:malelopezymar@hotmail.com), Diana Elisa BUSTOS CONTRERAS<sup>b</sup> [dianae@webtelmex.net.mx](mailto:dianae@webtelmex.net.mx), Verónica MENDIVIL<sup>c</sup> [veromenher@yahoo.com.mx](mailto:veromenher@yahoo.com.mx), Miriam Estelina PÉREZ RÍOS<sup>a</sup> [meperezr@hotmail.com](mailto:meperezr@hotmail.com), Ma. Elena DELGADO IBARRA [lanenadelgao\\_15@hotmail.com](mailto:lanenadelgao_15@hotmail.com), Marcos RODRÍGUEZ SÁNCHEZ<sup>a</sup> [m\\_rodriguez\\_utsoe@hotmail.com](mailto:m_rodriguez_utsoe@hotmail.com)

<sup>a</sup>Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato. Carr. Valle-Huanímaro Km.1.2, Valle de Santiago, Gto.

<sup>b</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Pasteur Sur 414, Querétaro, Qro.

<sup>c</sup>Centro Regional de Capacitación en Cuencas. Dom. conocido S/N La Joya y Charape la Joya, Querétaro, Qro.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una propuesta pertinente para coadyuvar en el restablecimiento de las funciones ambientales y socioeconómicas de la microcuenca La Joya por medio del manejo y aprovechamiento del nopal. El proceso participativo se basó en la metodología de la investigación acción participación de manera flexible y adaptativa. El balance hídrico determinó que la microcuenca presenta un déficit de humedad de 110 mm, poca infiltración (82 mm) y un escurrimiento de 126 mm. Se identificaron 7 especies de nopal, destacan *Opuntia robusta* y *Opuntia streptacantha* localizadas de manera silvestre en todas las zonas con densidad de 259 nopales / ha. Se estimó que el agua almacenada por los nopales es de 3,198.6 m<sup>3</sup>, se realizó una muestra gastronómica con platillos de nopal y se reforestaron 20.3 has con nopal en la parte media y alta para retener suelo y almacenar agua. Se establecieron 2600 metros de senderos interpretativos de nopal distribuidos en tres rutas de ladera cercanos a los principales escurrimientos de la microcuenca. Como opción productiva se trabaja en la elaboración de productos de nopal y xoconostle. El panorama que vislumbra para los habitantes de la microcuenca La Joya es alentador y los cambios en el paisaje son notorios. Dados los avances en el proceso participativo y la necesidad de retener agua, se concluye que el manejo y aprovechamiento del nopal es pertinente para contribuir en la rehabilitación de las funciones socioeconómicas y ambientales de la microcuenca La Joya en el corto y largo plazo.

**Palabras clave:** Nopal, microcuenca, especies, participación

## 1 INTRODUCCIÓN

Los principales problemas que sobresalen en las cuencas y microcuencas ocurren en las partes altas y en las áreas de captación donde se presentan graves problemas de deterioro de los recursos naturales, debido a que ahí se encuentran la mayoría de las explotaciones agropecuarias de alta siniestralidad (Aguilar, 2009), lo cual repercute en forma negativa en la sostenibilidad de las actividades productivas y por consecuencia en el nivel y la calidad de vida de los habitantes de las áreas rurales. El manejo inadecuado de los entornos físicos ha propiciado serias dificultades con los recursos hídricos, principalmente en la infiltración y captación, en el incremento del escurrimiento superficial y en la disminución de la recarga de los mantos acuíferos; lo que origina erosión severa y pérdida de suelo fértil en zonas de ladera y su arrastre hacia causas y zonas medias y bajas de las cuencas (FIRCO, 2011).



La microcuenca La Joya en el Municipio y Estado de Querétaro no es ajena a esta problemática. Debido a sus características morfológicas y al manejo inapropiado de los recursos, principalmente del suelo; presenta serios problemas de respuesta hídrica y el agua de lluvia sale al exterior de manera casi inmediata. La pérdida de la función hidrológica se traduce en poca disponibilidad de agua y repercute directamente en sus funciones socioeconómicas y ambientales siendo el común de la microcuenca la erosión, la pobreza, la marginación.

En esta microcuenca son pocos los recursos que podrían aprovecharse de manera sustentable para contribuir a la sostenibilidad y generar una estrategia de desarrollo integral que incluya la realización de proyectos productivos por los habitantes y que a su contribuyan a devolver las funciones ambientales y socioeconómicas que derivan de la pérdida de la funcionalidad hidrológica.

El nopal es una especie presente en la microcuenca (MAGIC, 2011) cuya versatilidad consiste en su capacidad de retención de suelo y agua en las cuencas de zonas áridas (CONAZA, 1992, Flores, 2002), el uso como alimento tanto para consumo humano como para consumo animal y en las características que le permiten ser procesado para obtener productos de valor agregado (Corrales, 2010).

Se propuso el manejo del nopal teniendo como base los resultados de los transectos participativos donde se observó la presencia de nopales en las diferentes zonas de la microcuenca y la distribución y espacio que estos ocupan en la unidad habitacional lo cual fue detectado durante la realización del Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca.

## **2 DETECCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

Los principales problemas que enfrenta la microcuenca son la pérdida de suelo y la escasez de agua lo cual se traduce en falta de productividad agropecuaria. Debido a que están sujetos al temporal, la producción no alcanza para cubrir las necesidades alimentarias anuales.

En la microcuenca La Joya, el maíz es el cultivo principal y como complemento se siembra frijol y calabaza. El destino de su producción es básicamente el autoconsumo y los esquilmos son usados para alimentar al ganado.

Los pocos recursos propios de la microcuenca que emplean en la dieta son el aguamiel extraída del maguey, las tunas y los nopales que cortan de las partes media y altas de la cuenca y de las nopaleras que han establecido en los traspatios.

En el caso de los nopales y las tunas, las nopaleras no tienen un manejo agronómico y sólo se practica la poda y la cosecha con la finalidad de obtener alimento durante la estacionalidad que va de abril a septiembre y de agosto a diciembre respectivamente.

Los nopalitos y las tunas tienen una demanda interna tal, que los habitantes tienen que subir a los cerros para proveerse de este alimento en la época de estacionalidad de las variedades tempranas. Durante el tiempo de máxima producción los nopalitos y tunas son muy apreciados y utilizados pero no todos son aprovechados para consumo humano debido a que la producción supera al consumo y entonces parte se destina para apoyar la alimentación animal y otra simplemente no se aprovecha sin embargo; debido a que los nopalitos son parte de la dieta cotidiana y los usan frecuentemente en la preparación de guisados, estos son adquiridos en el mercado durante el año cuando no hay en la microcuenca, representando un gasto extra en la economía familiar ya de por sí deficiente.

Aún cuando existen nopales en la microcuenca y tienen diversos usos (Pacheco, 2006), éstos no han sido empleados con fines de recuperación ambiental como puede ser la retención del suelo a pesar de que los habitantes han reconocido esta problemática. En general poco se ha hecho en lo que respecta a la conservación de suelo, se ha intentado reforestar con un programa de La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), pero este no llegó a ser exitoso debido a la falta de experiencia del técnico contratado para el manejo del mismo quien introdujo especies exóticas, en malas condiciones y extemporáneamente, de manera que los habitantes quedaron comprometidos por dicha reforestación ante la CONAFOR. La baja productividad agrícola ligada a la pérdida de suelo y las nulas oportunidades de empleo local hacen que en la Microcuenca la mayoría de la Población Económicamente Activa (PEA) tenga categoría de desocupados y por lo tanto no reciban ningún ingreso monetario por el desempeño de su trabajo. Eventualmente hay empleo temporal remunerado por la participación en diferentes programas gubernamentales.

La falta de un sistema de producción estable o confiable y los conflictos generan desesperanza y poca visión en lo local, de tal suerte que la migración hacia los Estados Unidos es un fenómeno social que está presente en las familias de la microcuenca, mismas que se ven favorecidas por el envío de remesas que hacen los migrantes quienes, junto con las personas que reciben remuneración por trabajo, son la base económica de las dos comunidades. Del total de 289 habitantes, 253 personas dependen de los 21 migrantes y de otras 15 que reciben algún ingreso monetario por su trabajo, generando con esto una alta tasa de dependencia económica cuyo valor es del 87.5 %, lo cual habla de los niveles de pobreza en la microcuenca (MAGIC, 2011).

Los impactos de que los pobladores migren son significativos para la vida comunitaria y el hecho de que los beneficios monetarios lleguen aproximadamente cada 15 días, hacen que las comunidades tomen una dinámica económica más estable, pero a este fenómeno socioeconómico, le acompaña el abandono de tierras, la desintegración familiar y en muchos casos al salir a trabajar para satisfacer sus necesidades medianamente, descuidan sus sistemas productivos. En la microcuenca existen subsidios gubernamentales como el Programa Oportunidades que si bien representa una fuente de ingresos fundamental para las familias, no ha logrado erradicar las condiciones de pobreza, aún cuando su misión se focaliza en cubrir necesidades de nutrición, salud y educación, de manera que ni los ingresos de los migrantes, ni los subsidios han contribuido a elevar la calidad de vida de los habitantes que no migran.

### **3 JUSTIFICACIÓN DEL USO DE NOPAL**

En la microcuenca La Joya, los habitantes han identificado su problemática y han planteado junto con los técnicos algunas propuestas de solución en los diferentes talleres participativos durante la realización del Plan Rector de Producción y Conservación (MAGIC, 2011). La pertinencia del abordaje de la problemática incluyó el manejo de los recursos propios de la microcuenca que, aun cuando son escasos pueden contribuir a restablecer sus funciones. El diagnóstico da cuenta de la existencia de aquellos como El nopal (*Opuntia* spp.) que cumple una importante función ambiental y tienen potencial para satisfacer necesidades económicas siempre que se maneje de manera ordenada con enfoque de sustentabilidad.

El nopal es una especie que está siendo utilizada para prevenir la erosión de suelos y combatir la desertificación ya que tiene gran capacidad de adaptación en tierras pobres e inapropiadas para otro tipo de cultivos, puede ser utilizado para la retención de suelo, y para disminuir la velocidad de los escurrimientos y apoyar con ello la infiltración de agua al subsuelo (Flores, 2002), y además es ideal para responder a los

cambios ambientales globales por su capacidad de capturar carbono y en la producción de biomasa (FAO, 2006). Es importante resaltar que los nopales son almacenes de agua en zonas áridas y aunque generalmente esta agua no es para consumo humano, es una fuente disponible para el ganado sobre todo en la época de estiaje (Flores-Hernández, 2002).

#### 4 ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca La Joya se localiza en la parte Noroeste del Municipio de Querétaro, el cual a su vez se localiza en la porción suroeste del Estado de Querétaro (Figura 1). Tiene como coordenadas extremas 335586.47 y 340417.62 en Longitud Este y 2298474.56 y 2304080.23 en Latitud Norte (UTM). Comprende una superficie de 15.92 Km<sup>2</sup> y una extensión perimetral de 16.9 Km. Su rango de altitud abarca desde los 2250 hasta los 2715 msnm. Forma parte de la Provincia fisiográfica X (diez) correspondiente al Eje Neovolcánico, dentro de la Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo (Pineda, 2009). La microcuenca comprende el cráter interior del volcán La Joya (MAGIC, 2011). Presenta clima semiseco templado BS1kw(w), con temperatura media anual de 15.3° C y con un régimen de lluvias en verano, mayo-septiembre con una precipitación pluvial igual a 612.7 mm. La microcuenca La Joya es una microcuenca exorreica pequeña, de forma circular, sus características morfológicas la describen como una microcuenca con problemas de respuesta hídrica. Con una densidad de drenaje alta, igual a 5.5 km/km<sup>2</sup>. Forma parte de la vertiente del pacífico oeste, Región Hidrológica Lerma-Santiago (RH-12); en la división de la Cuenca del Río Laja (050), Subcuenca Querétaro-Apaseo (07) y Microcuenca Potrero (025), (MAGIC, 2011).

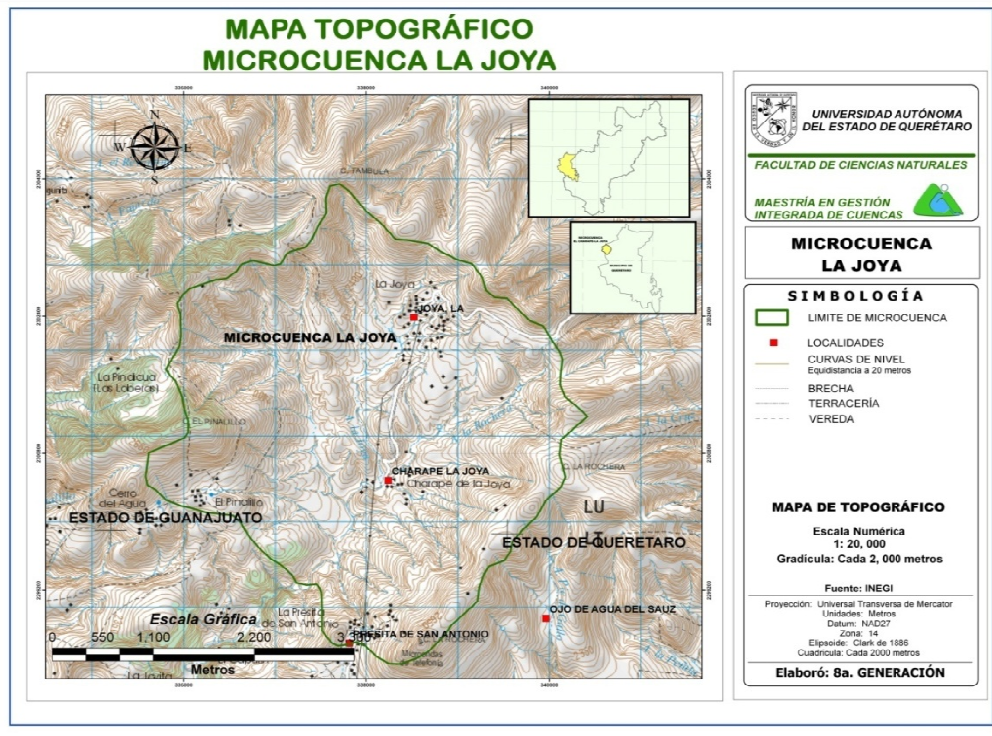


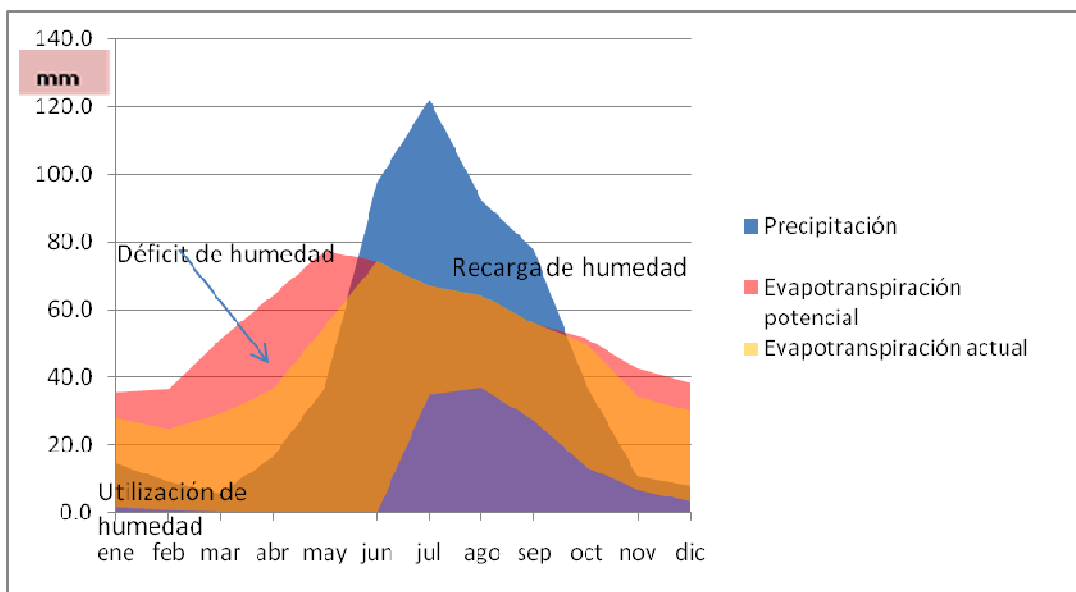
Figura 1. Mapa topográfico con la localización de la microcuenca La Joya. Fuente: (MAGIC, 2011)

Las características hidrológicas de La Joya están moldeadas por la acción de seis unidades de escurrimiento, las cuales se unen y abastecen al cauce principal en la parte sur de la microcuenca. El arroyo La Joya nace en el Cerro Tábula en la parte Norte y corre de manera vertical hacia el sur, se caracteriza por ser un drenaje intermitente, el cual presenta la mayor longitud de corriente (Unidad B). En segundo lugar se encuentra el escurrimiento que nace a las faldas del Cerro El Pinalillo el cual corre de oeste a sur de manera intermitente, cubre gran parte de la superficie de la microcuenca por lo que por extensión, es la de mayor influencia en la misma, esta unidad de escurrimiento es denominada Unidad A. En tercer lugar se encuentra la unidad de escurrimiento formada por el Arroyo La Rochera, el cual está ubicada en la porción este de la microcuenca y corre de manera intermitente disecando las laderas y formando en su parte más baja valles intermontanos, de gran importancia hidrológica por la presencia de manantiales, esta unidad es denominada como C. Existen otras tres unidades de escurrimiento (Unidades D, E y F) que sin ser menos importantes, los estudios se enfocaron en la priorización de las primeras tres como una estrategia inicial de intervención en la Microcuenca La Joya.

### 5 BALANCE HÍDRICO

El Balance hídrico se realizó utilizando las herramientas ARC View 3.2 y ARC MAP 2 siguiendo la metodología para la determinación del balance hídrico mensual de Thornthwaite método directo, presentado por Dunne y Leopold en 1978. Los datos de precipitación y temperatura mensuales se extrajeron de la base de datos ERIC III, en el cual se ubicaron las estaciones meteorológicas más cercanas a la microcuenca, y la propia de la microcuenca, para los años que van de 1976 a 2005, por ser estos los registros existentes. Las estaciones más cercanas y que se utilizaron para efectos de la interpolación de los datos faltantes fueron: Estación La Joya, estación Presa de Jalpa y estación Charape de Iturbide.

De acuerdo a los datos del balance, la recarga de agua se presenta solamente durante la temporada de lluvias que para la microcuenca La Joya va de Mayo a Octubre como puede observarse en la Figura 2.



**Figura 2.** Balance Hídrico de la Microcuenca La Joya. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el escurrimiento ocurre de manera paralela a la temporada de lluvias quedando un área bajo la curva muy pequeña respecto a la recarga, lo que indica poco almacenamiento y retención de agua en la microcuenca.

## 6 IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES DE NOPAL

Determinación de la densidad de nopales en la microcuenca. Se realizó un transecto participativo en la zona de influencia del escurrimiento B. Se utilizó la metodología citada en la Guía Técnica de FIRCO (2005) enfocando la observación hacia la presencia de nopal y el uso de suelo. Se realizaron observaciones con los habitantes quienes se sumaron al recorrido, y describieron las condiciones del nopal a lo largo de transecto.

Determinación de la densidad de nopales por zona de cuenca. Se contabilizaron los nopales existentes en 28 rectángulos de 10 x 50 metros los cuales fueron elegidos al azar en diferentes puntos de la de la microcuenca.

Se calculó la densidad de los nopales equivalente al número de nopales por hectárea. Con los datos obtenidos se realizaron los mapas para conocer las densidades del nopal en la microcuenca de acuerdo a las zonas y al uso de suelo y vegetación. Se utilizó la herramienta ARC-MAP 2.

Identificación de las especies de nopal en la microcuenca La Joya. Para la identificación de las especies se recolectaron 25 muestras diferentes de pencas (cladodios) de nopal de acuerdo a los nombres comunes proporcionados por los habitantes. La colecta se llevó a cabo atendiendo la metodología de Gavino (1992). La identificación se realizó siguiendo las claves dicotómicas para la identificación de las series de nopal citadas por Bravo en 1978.

Las observaciones a los caracteres realizadas en campo describen en general plantas con tallos discoideos, de fruto carnoso, arbustivo o arbóreo, con artículos que no se desprenden fácilmente con aréolas grandes y distantes, de fruto grande, con espinas cuando presentes de color blanco. Una vez identificada las series, se ubicó la especie dentro de las mismas atendiendo las claves de las especies propuestas por la misma autora como son el color de espina, el tamaño de la raqueta y fruto, la presencia y ausencia de semillas y cerdas o pelos, entre otros.

Las especies se registraron para cada espécimen y se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1** Especies encontradas en la microcuenca La Joya y su nombre común. Fuente: Elaboración propia

CLAVE SERIE	SERIE	ESPECIES	MUESTRAS	NOMBRE COMÚN
XII	<i>Tomentosae</i>	<i>O. tomentosa</i>	J2, J13, J16,	Peludito, chamacuero, meca
XV	<i>Ficus-indicae</i>	<i>O.ficus indica</i>	J9,	Verdulero
XVI	<i>Streptacantae</i>	<i>O. estreptacantha</i>	J3, J4, J6,	Hartón, s/identificar, Hartón
			J11, 17, J18, J20,	Amarillo, Mancaño, Sotoleño, Agridulce

			J22, J23, J24	Aguamielo, Redondo, Hartón
		<i>O. joconostle</i>	J1, J8, J14, J21	Xoconostle, (4)
		<i>O. lasiacantha</i>	J12,	Negrilo
		<i>O. megacantha</i>	J7, J10, J19	Blanco, apastillado, blanco cardón grande
			J25	Blanco cardón chico
XVII	<i>Robustae</i>	<i>O. robusta</i>	J5, J15,	Tapón (2)

La mayor diversidad de especies pertenece a la serie XVI Streptacanthae, con 4 especies y 19 especímenes de los 25 muestreados, lo que corresponde al 76%. La especie de más presencia de esta serie es la *O. streptacantha* con 8 variedades en 10 muestras. Le siguen *O. megacantha* con 4 muestras e igual número de variedades y *O. joconostle* con 4 muestras y una variedad. También se encontró dentro de esta serie a la especie *O. lasiacantha* con una variedad.

Se encontró que la mayor densidad (284 nop/ha) se presenta en la zona baja con valores muy similares a los obtenidos para la zona media (277 nop/ha) mientras que en la parte alta hay menor cantidad de nopales (Tabla 2).

En lo que se refiere a las especies de nopal en las tres zonas predomina el nopal tapona (*O. robusta*) en mayor proporción que nopal hartón (*O. streptacantha*), proporción que disminuye conforme desciende la altitud.

**Tabla 2** Densidad de los nopales por zona de cuenca en la microcuenca La Joya. Fuente: Elaboración propia con datos tomados en campo.

ZONA	SUPERFICIE HAS	ALTITUD MSNM	NO_NOPAL	NO. TAPONA	NO HARTON	DENSIDAD NOP/HA
ZONA ALTA	207.7	2590-2620	25	23	2	125
ZONA MEDIA	594.0	2448-2512	97	75	22	277
ZONA BAJA	790.5	2317-2448	241	171	70	284

Esta disminución probablemente se debe a la adaptación de *O. tapona* a condiciones más agresivas, sobre todo de temperatura y a la introducción de (*O. streptacantha*) en la parte baja.

La distribución de los puntos y el tipo de vegetación en que se ubican da cuenta de la influencia humana toda la zona de la microcuenca sobre todo en los sitios cercanos a cuerpos de agua.

La clasificación de acuerdo al uso de suelo muestra que la mayor densidad de nopales se encuentra en la zona urbana, mientras que el segundo valor más alto corresponde a los sitios sin vegetación aparente.

La mayor densidad de nopales en la mancha urbana, probablemente tenga que ver con el establecimiento de las casas en lugares próximos a los canales de aguas, pero con vegetación, en este caso, los nopales, de manera que estos sigan existiendo hasta la fecha en la proximidad de las casas y en los caminos.

## 7 ESTIMACIÓN DEL AGUA ALMACENADA EN LOS NOPALES

Se colectaron 20 pencas de nopal taponada (*Opuntia robusta*) en el Cerro Puerto del Aire perteneciente a la localidad de La Joya. Las muestras se pesaron y se registró el peso promedio. Se determinó el contenido de humedad por el método de secado por corriente de aire.

Se encontró que el promedio de humedad para *Opuntia robusta* es de 81.4 % y el peso promedio es 953.5 gramos, mientras que la densidad promedio de nopales es de 259 nop/ha, mientras que el área de cuenca es de 1592 ha.

Conociendo el peso promedio de las pencas, el contenido de humedad, la densidad y el área en la microcuenca, se calculó la cantidad de agua almacenada en los nopales con base a 10 pencas en promedio por nopal y considerando que 1 m<sup>3</sup> de agua=1000 Kg basado en la densidad del agua = a 1g/cm<sup>3</sup> a condiciones normales de temperatura y presión, se puede calcular el Agua Almacenada (AA) en los nopales de la microcuenca con el siguiente cálculo:

$$AA = 0.953 \frac{kg}{penca} \times 259 \frac{nopal}{ha} \times 1592 ha \times 10 \frac{penca}{nopal} \times \frac{81.4}{100} \times \frac{1m^3}{1000kg} = 3,198.6m^3$$

Se obtuvieron 3, 198.6 m<sup>3</sup> el equivalente aproximado a un recipiente con medidas de 10m X 50m X 6m.

Por zona de cuenca los resultados obtenidos fueron:

$$\text{Alta} = 200.4 m^3, \text{Media} = 1,276.4m^3, \text{Baja} = 1,733 m^3$$

Calculado por zona de cuenca da un total de 3,209 m<sup>3</sup> (implica una diferencia de 10.8 m<sup>3</sup>). De lo anterior se deduce que la mayor retención de agua por efecto de los nopales ocurre en la parte baja de la microcuenca y la menor en la parte alta. Lo anterior está relacionado con las densidades, las cuales están en función directa con las zonas de cuenca.

## 8 EL PROCESO PARTICIPATIVO

El proceso participativo que involucra la propuesta de manejo del nopal en la microcuenca La Joya ha tenido varias vertientes a partir de la presentación de la propuesta para su participación en la elaboración del Plan Rector en septiembre de 2009. Al inicio de la realización del PRPC, las personas proporcionaban información por medio de entrevistas, diálogos semiestructurados, encuestas, e informantes clave a nivel individual; en lo colectivo, la información se obtuvo en los talleres participativos promovidos por los técnicos. A partir de que aceptaron su participación en los proyectos, todas las actividades realizadas en la microcuenca estuvieron acompañadas, propuestas y/o ejecutadas por y con los habitantes de manera que poco a poco se fue avanzando a mayores niveles de participación. Se realizaron transectos y recorridos para caracterizar la microcuenca y ubicar el nopal, manantiales, áreas de agostadero, bordos, etc., se hicieron talleres para hacer el mapa comunitario, para identificar la problemática, para presentar el concepto de cuenca, para organizar los trabajos de conservación de

suelo, para capacitar para marcar las curvas de nivel y plantar el nopal entre otros. Los conceptos de cuenca, conservación e infiltración empezaron a ser parte de su lenguaje y la importancia de retener el agua, la retención de agua en los nopales y cómo la cobertura vegetal y los nopales retienen suelo son temas que exponen y defienden muy bien, además de que son ellos los que más están promoviendo la participación de sus familias en las distintas actividades. Esta participación llevó a la reforestación de 20.3 ha con nopal y con ello subsanar el compromiso con la CONAFOR. También se establecieron 2600 metros de senderos interpretativos con nopal en las zonas de influencia de los escurrimientos A y B, (los de mayor influencia antropogénica) con lo cual se estima un almacenamiento de agua equivalente aproximadamente de 3,448.3 m<sup>3</sup> tan solo en la zona de reforestación y en los senderos, cantidad similar a el total de agua almacenada por los nopales en la microcuenca.

El 100 % de las casas fueron visitadas para determinar la situación de uso del nopal, los han puesto de manifiesto las inquietudes que en lo colectivo no se animan a exponer, pero que sufren todos como por ejemplo: el sentir por los que migran y el temor porque las drogas o el narcotráfico lleguen a su territorio. A partir de los talleres de equidad y género que les impartieron, las señoras decidieron realizar una muestra gastronómica y posteriormente solicitaron un taller de elaboración de productos de nopal como una opción productiva, con lo cual han ampliado su visión a las posibilidades que ahora se les presentan y han empezado a comercializar productos de nopal en diferentes puntos de la ciudad de Querétaro.

## 9 CONCLUSIONES

La necesidad de retener agua en la microcuenca y la diversidad de especies de nopal encontradas en las diferentes zonas de la misma así como la importancia del uso y la aportación que tiene este elemento en la alimentación de los habitantes de la microcuenca La Joya, permiten concluir que las propuestas para el manejo y aprovechamiento del nopal son pertinentes para contribuir en la rehabilitación de las funciones de la microcuenca en el corto y largo plazo dado los avances en el proceso participativo y el involucramiento de las habitantes tanto en diagnóstico como en la ejecución de las mismas y en las fortalezas institucionales disponibles para su sostenibilidad. Futuros trabajos referentes al nopal deberán orientarse a determinar la cantidad de agua infiltrada y al suelo retenido por estas especies

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro Regional de Capacitación en Cuencas, al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, a la Universidad Autónoma de Querétaro y a los habitantes de la microcuenca La Joya por el apoyo y las facilidades para la realización de este proyecto.

## REFERENCIAS

- Aguilar, R., García, L. y Paredes, M. 2009. Manejo agronómico de una microcuenca en el Norte de Guanajuato. San Luis de la Paz, Gto. México, pp. 15-18
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. México D. F. Vol. 1, pp. 743
- CONAZA. 1992. Nopal cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Saltillo, Coahuila, pp. 50
- Corrales-García, J. Perspectivas Agroindustriales de la postcosecha de nopalito y tuna. En Memorias del IX Simposio Nacional y II Taller Internacional. Campus de Ciecias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo, N.L., México, pp 1-21
- Dunne T. and Leopold L., 1978. Water in environmental planning. Freeman 86. San Francisco, USA., pp. 15 - 800



- FAO. 2006. El nopal como estrategia para zonas áridas, <http://77www.data.fao.org/waicent/FAOnff/AGRICULT/AGP/AGPC/DOC/publical/cactusnt/cactus/html> (accessed 17 Ene. 2011)
- FIRCO. 2005. Guía Técnica Para La Elaboración de Planes Rectores de Producción y Conservación, pp. 68 - 74
- FIRCO. 2010. Introducción al Proyecto Institucional para la Concurrencia Territorial Microcuencas, [http://www.firco.gob.mx/proyectos/microcuencas/Paginas/micro\\_01.aspx](http://www.firco.gob.mx/proyectos/microcuencas/Paginas/micro_01.aspx) (accessed 29 Mzo. 2011)
- Flores-Hernández, A. 2002. Manejo del agua en el cultivo del nopal, pp. 14-20
- Flores, V.G. 2002. Respuesta de producción de nopalitos y de pH de cuatro genotipos de nopal (*Opuntia* spp.) tolerantes a heladas a tres densidades en invierno. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, pp. 55
- Gavino, G. 1992. Referencias Técnicas Biológicas Selectas de Laboratorio y de Campo. México, D.F. México, pp. 21 - 26
- MAGIC. 2011. Plan Rector de Producción y Conservación de la microcuenca La Joya. UAQ. Qro. México. 154 p.
- Pacheco, S. 2006. El Charape. Pueblo Migrante. Tradición oral. Editorial Viterbo. México. 116 p.

# AGROECOLOGÍA Y ORGANIZACIÓN COMUNITARIA DEL TERRITORIO<sup>3</sup>

Lucio Jacinto DÍAZ MARIELLE, Catherine MARIELLE MEYER, Manuel LÓPEZ ALAVEZ, Adriana ALARCÓN ALAVEZ, Pio Giovanni CHÁVEZ SEGURA, Alvaro FLORES CASTRO, Cristina RENDON GODÍNEZ, Carolina HERNÁNDEZ MORENO y Santiago VILLANUEVA NAVARRETE

Grupo de Estudios Ambientales A.C., Allende 7, Sta. Ursula Coapa, Coyoacan, México D.F.,  
[geasas@laneta.apc.org](mailto:geasas@laneta.apc.org), [centrosaberes.gea@gmail.com](mailto:centrosaberes.gea@gmail.com)

## RESUMEN:

Este artículo presenta aspectos de la experiencia del Grupo de Estudios Ambientales A.C. (GEA) en la montaña baja de Guerrero, en la búsqueda de una agroecología comunitaria anclada en la reconstrucción de los tejidos comunitarios y el fortalecimiento de las instituciones de los pueblos como base para avanzar hacia la sustentabilidad de sus territorios.

El trabajo regional de Agroecología Comunitaria de GEA tiene dos objetivos. El primero es fortalecer la agricultura campesina indígena y el cuidado de las semillas criollas, la milpa y todos los espacios que proveen alimentos dentro del territorio, a fin de avanzar hacia la autonomía alimentaria de las comunidades. El segundo es favorecer que niños, jóvenes, hombres, mujeres, abuelos y, en especial, los animadores, los comités del agua, las autoridades y otras instituciones comunitarias cuenten con más espacios y capacidades (técnicas, metodológicas, organizativas y de comunicación) para impulsar procesos de agricultura campesina sustentable como parte de la vida comunitaria.

**Palabras clave:** *Agroecología, territorio, instituciones comunitarias, maíces nativos, sistema milpa, manejo comunitario del agua.*

## 1. AGRICULTURA, COMUNIDAD Y TERRITORIO

El Grupo de Estudios Ambientales A.C. (GEA) acompaña desde 1977 a comunidades campesinas e indígenas. El Maestro Efraím Hernández Xolocotzi, asesor de nuestra asociación, contribuyó a reconocer y valorar los antecedentes que albergan estas comunidades, como la milpa, un sistema agrícola tradicional de raíz milenaria que reposa en un complejo entramado cultural y biológico, y los conocimientos tradicionales que conforman la ciencia campesina o ciencia de huarache, como él la llamaba. El conocimiento y entendimiento de esta enorme riqueza ha resultado de un constante diálogo de saberes, a contracorriente del extensionismo que desde entonces fomentaba el modelo agroindustrial. A partir de los noventa, el gobierno mexicano practicó en forma sistemática una política de expulsión de los campesinos y de apertura comercial. Ambos procesos han ido minando toda esta riqueza de manera preocupante.

México es centro de origen y diversificación de muchas plantas cultivadas y auspiciadas, se trata de procesos de domesticación y coevolución basados en formas de vida y relaciones de larga duración. Los maíces nativos y

<sup>3</sup> Este texto se deriva, resume y actualiza el envío de GEA al expediente maíz de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad en 2012 (en prensa).

otros productos de las milpas, como frijoles, calabazas, quelites, chayotes, chiles, han sido y son seleccionados, intercambiados, sembrados y cuidados por los pueblos indígenas y campesinos.

Año con año, en las milpas mexicanas, respondiendo a diferentes situaciones y contingencias ambientales y climáticas, con tecnologías y conocimientos propios que optimizan las limitantes de espacio, propician los equilibrios del suelo y diversifican la producción, resiste esta agricultura que crea y recrea el sentido de colectividad y que ha garantizado una alimentación sana y diversa, con innumerables tradiciones culinarias.

Estos pueblos, como guardianes de las semillas, tienen una importancia fundamental frente a la erosión genética del sistema alimentario mundial, a la agricultura industrial y al control de las empresas. La pérdida de la agrobiodiversidad reduce la seguridad alimentaria mundial. Antes de la introducción de la revolución verde, y de la dependencia de fitomejoradores y empresas semilleras, el sistema alimentario nacional se basaba en el germoplasma y la experiencia campesina (Boege, 2008).

La antigua organización social del altepetl (in atl, in tepetl, el agua, la montaña), como expresión de la integralidad del pueblo con su territorio (Fernández y García, 2006), aún se reflejan en la diversas formas de vida de los pueblos del maíz, herederos de una agricultura milenaria y de modos colectivos de vivir en armonía con el agua, con la montaña, con la tierra. A lo largo y ancho del país los pueblos campesinos han logrado mantener ciertos equilibrios y relaciones territoriales respetuosas, desarrollando y adaptando estrategias de sobrevivencia y tejidos sociales para seguir existiendo, ocupando, domesticando, diversificando, conservando y construyendo territorios.

Los sistemas sociales comunitarios no son algo acabado, perfecto ni inmutable, tampoco son homogéneos y están en constante cambio y movimiento. La tendencia en México es su creciente deterioro por las presiones del sistema social dominante; pero sus capacidades de resistencia los mantienen como expresiones actuales de una matriz civilizatoria propia, con cosmovisiones, conocimientos, creencias, sistemas normativos y de valores, educación y lengua propias, formas de propiedad, de trabajo y tecnologías, entre otros elementos que se sustentan en la milpa y el territorio (Rendón, 2004).

Esto nos ayuda a entender cómo, a contracorriente de las políticas neoliberales, el México indígena y campesino se mantiene vivo: más del cincuenta por ciento del territorio nacional se encuentra bajo régimen de propiedad social, en manos de ejidos y comunidades, buena parte de los bosques y selvas del país están bajo la custodia de estos pueblos.

Frente a la crisis ambiental, climática y alimentaria, con sus múltiples causas y amenazas, frente a los vertiginosos cambios tecnológicos, políticas, leyes y programas agroalimentarios y ambientales implementados en los últimos años, cada región y cada comunidad encara de diferentes maneras sus problemáticas socio ambientales. En muchos casos aportando prácticas, estrategias y conocimientos muy valiosos para construir un futuro más sustentable.

La comprensión y el fortalecimiento de la agricultura campesina indígena implica entonces mirar la integralidad ecológica de los territorios, la racionalidad de su manejo y su relación con los sistemas normativos y los mecanismos de regulación de los recursos naturales en cada lugar.

## **2. SE HACE CAMINO AL ANDAR**

Presentamos nuestra experiencia hacia una agroecología comunitaria, desde la vivencia del Programa Sistemas Alimentarios Sustentables (SAS)<sup>4</sup> de GEA, como parte de una propuesta más amplia: el Programa Integral Regional de Manejo Campesino de Recursos Naturales y Sistemas Alimentarios Sustentables.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> El Programa SAS, coordinado por Catherine Marielle, ha contado con el apoyo del Servicio de las Iglesias Evangélicas en Alemania para el Desarrollo (EED) desde el 2001.

En 1994, GEA se acercó a comunidades de la montaña baja de Guerrero por invitación de la organización campesina SSS Sanzekan Tinemi,<sup>6</sup> entonces comenzó un proceso de vinculación e intercambio con más de 20 comunidades que marcaría el inicio de un camino de mutuo aprendizaje y de construcción de alternativas concretas.

Si bien en esta región las comunidades enfrentan una situación de gran pobreza y procesos de erosión ambiental y social acelerados, en los diagnósticos comunitarios, pronto se encontraron muchas riquezas, así como apuestas y desafíos. El primer reto fue empezar a conocer y entender el manejo campesino del territorio en cada comunidad, esto incluye los conocimientos, las prácticas, la organización y las formas de gobierno. Desde el nacimiento del Programa Manejo Campesino de Recursos Naturales (Macarena)<sup>7</sup> de GEA, dos enfoques han orientado el trabajo regional.

En primer lugar, la familia campesina basa su reproducción en el manejo simultáneo de múltiples subsistemas complementarios: la parcela agrícola, el huerto, los animales domésticos, la recolección y la caza, la producción y venta de artesanía, la comercialización de pequeñas cantidades de productos en los mercados locales y regionales y el jornaleo dentro y fuera de la región. Las unidades familiares campesinas y las comunidades no se especializan; no son sólo agrícolas o ganaderas, forestales o artesanales, jornaleras o migrantes, sino todo al mismo tiempo. La diversificación de actividades, no la especialización, permite disminuir los riesgos y garantizar la sobrevivencia. Nuestras acciones buscan fortalecer estas estrategias y sistemas diversificados, en ellos se basa el diseño del programa integral regional.

En segundo lugar, pensamos que la clave de un manejo sustentable del territorio y sus recursos está en las capacidades organizativas y de autorregulación de las comunidades, que dependen de la fortaleza de sus propias instituciones y de los mecanismos para convocar esfuerzos y resolver conflictos. Esto, además de una hipótesis de partida, ha representado un eje transversal para trabajar con las comunidades de la región.

El Programa Macarena se abocó a entender las instituciones en cada comunidad, y en particular las que regulan el acceso y uso de los recursos naturales: por qué y cómo se establecen, cómo se vigilan, cómo y por qué se ajustan. Se encontraron normas, acuerdos, prácticas y creencias que regulan tiempos, cantidades, lugares, reparto equitativo, entre otros aspectos, de cada recurso (agua, leña, palma, maguey, pastoreo y agricultura), basados en conocimientos muy precisos y tendientes a buscar equilibrios entre la satisfacción de las necesidades y la sustentabilidad de su aprovechamiento (Aguilar et al., 2002).

Los trabajos de Elinor Ostrom y de la Asociación Internacional para el Estudio de los Comunes (IASC por sus siglas en inglés) permitieron reflexionar con mayor profundidad sobre la relación entre las instituciones locales y el estado de los recursos naturales y entender a las comunidades como sistemas socio ambientales complejos. En estos años hemos confirmado que la presencia y fortaleza de las instituciones comunitarias genera un margen de autonomía donde la toma de decisiones, basadas en la información y reflexión colectiva, puede representar la base para el control y el manejo sustentable del territorio.

Por ello, en esta experiencia hemos tratado de que las acciones fortalezcan la institucionalidad comunitaria. Cuando nos referimos a las instituciones comunitarias hablamos principalmente de las asambleas, los sistemas de cargos, el tequio, la fiesta y la propiedad colectiva de la tierra. La mayor parte de las comunidades con las que

---

5 Experiencia con la que GEA ganó el Premio Ecuatorial 2012 y en 2013 el premio de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales a la mejor Experiencia de desarrollo Rural Sustentable y el Premio Elinor Ostrom de la Asociación Internacional para el Estudio de los Comunes.

6 Si bien la relación intensa con la Sanzekan Tinemi continuó por más de una década, después cada organización siguió su propio rumbo. GEA trabaja de manera directa con las comunidades y los ejidos a través de sus instituciones, las asambleas y sus autoridades. Desde ahí las comunidades pueden convocar esfuerzos y articularse con diferentes actores en función de sus propios proyectos.

7 El programa Macarena fue iniciado por Jasmin Aguilar en 1995 y es coordinado por Catarina Illsley.

colaboramos son campesinos de origen nahua que han perdido su lengua materna, núcleos agrarios formados después de la revolución mexicana, que han heredado, generado y adaptado tradiciones organizativas a sus sistemas de gobierno.

La región pinta un complejo mosaico derivado de su particular historia de reparto agrario. Se encuentran comunidades constituidas por pequeñas propiedades, muchos pequeños ejidos y algunos bienes comunales, que se organizan en torno a autoridades agrarias y civiles, representadas por comisariados ejidales o de bienes comunales y comisarios municipales. Ambas autoridades convocan a asambleas para la toma de decisiones, también se nombran comités para atender aspectos de la vida comunitaria. Comisariados, comisarios y comités son parte de los sistemas de cargos reconocidos y respaldados por la comunidad. Los cargos se turnan de forma rotativa y no son remunerados, son entendidos como servicio al pueblo.

Estas formas de autogobierno local no son infalibles, pero siguen mostrando su flexibilidad, coherencia y capacidad de adaptarse a situaciones cambiantes. En la región, factores como la entrada de los partidos políticos, la cultura clientelar y la individualización de la pobreza, y situaciones que rebasan el ámbito de control de las comunidades, como la pobreza estructural, los programas de gobierno, el mercado, la migración, entre otros, han tendido a romper con el cuidado implementado desde las instituciones locales. Esto se refleja en el creciente deterioro de los recursos naturales muy contrastante de una comunidad a otra. La capacidad de establecer un margen de autonomía y estructuras organizativas fuertes puede tener más peso sobre la sustentabilidad que factores como la relación entre la extensión del territorio y su población (Díaz et. al., 2008).

### **3. ACOMPAÑANDO LA ORGANIZACIÓN COMUNITARIA DEL TERRITORIO**

El Programa Integral Regional que GEA impulsa actualmente con una veintena de comunidades de los municipios de Chilapa, Ahuacutzingo y Zitlala, tiene como objetivo general fortalecer las capacidades comunitarias para avanzar hacia un mayor control y un manejo sustentable de sus territorios.

Se trata de una construcción colectiva de propuestas por la tierra, los montes, las aguas y la agricultura campesina, reuniendo los esfuerzos de asambleas, autoridades y comités comunitarios; de animadores y promotores campesinos; de colectivos de trabajo; de niños, niñas y jóvenes; de escuelas; y de los programas Macarena desde 1995, y SAS y GEAVIDEO desde 2001. Buscamos aprender sobre las relaciones que sustentan la vida comunitaria y reforzar los tejidos sociales.

Nos organizamos en líneas de trabajo que se articulan según los acuerdos de trabajo que se establecen con cada comunidad: manejo comunitario del monte y la biodiversidad; conservación de suelo y agua en microcuencas; protección de fuentes de agua; agroecología comunitaria; manejo del ganado y las áreas de pastoreo; patios, solares y la viviendas campesinas; agua, salud y alimentación con escuelas.

Estas líneas nutren planes de trabajo comunitarios, escolares, colectivos y familiares, en diferentes espacios del territorio y niveles de toma de decisiones. El agua ha sido un elemento integrador. La planeación campesina de microcuencas, como parte de estos procesos, ha permitido trabajar con una mirada más integral.

En cada línea se desarrollan actividades de diseño metodológico, investigación, acompañamiento técnico, comunicación y formación. Los estudios de ecología, biología, geología, hidrología, agronomía, antropología, entre otros, y el uso de herramientas como la cartografía, han enriquecido los procesos en las comunidades.

Como líneas transversales, para promover la valoración de las memorias, los saberes y las culturas campesinas, hemos impulsado la comunicación andariega y un proyecto educativo con niños, niñas y jóvenes: las Jornadas por la Madre Tierra.

Aprendiendo y enseñando, multiplicando el encuentro, se han ido tejiendo espacios de generación, rescate e intercambio de saberes, y propuestas de formación con promotores de diferentes edades, con niños, jóvenes y adultos, con toda la comunidad, con estudiantes universitarios y entre comunidades. Así se han tendido puentes con otras experiencias de la región y de otras regiones.

Se han establecido procesos de colaboración con instituciones académicas como la Universidad Autónoma de Guerrero, la Universidad de los Pueblos del Sur, el Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, la Universidad Autónoma de México y la Universidad Autónoma Chapingo; estudiantes, profesores e investigadores han enriquecido su formación en la vinculación con las comunidades y han devuelto diversas investigaciones y tesis que enriquecen los proyectos desde diferentes campos de conocimiento.

#### 4. EL PROCESO DE INTERACCIÓN

Hace doce años, el equipo de trabajo del Programa SAS, iniciamos un diálogo con compañeros de varias comunidades campesinas guerrerenses, y nos decidimos a caminar juntos, con los principios de la agroecología como propuesta para avanzar hacia sistemas alimentarios sustentables, es decir, pensando desde la producción hasta el consumo de los alimentos.<sup>8</sup>

En los primeros espacios de reflexión colectiva iniciamos el análisis de los problemas y las necesidades de la agricultura y comenzamos a proponer alternativas; poco a poco fuimos buscando en la memoria y la experiencia de la región, lo que hacían los abuelos ante situaciones parecidas, lo que se dejó de hacer, lo que se sabe en cada pueblo.

En talleres de diagnóstico comunitario revisamos en la historia y los calendarios de los sistemas de cultivo. Buscamos entender los cambios en los paisajes, las prácticas agrícolas y la alimentación. También buscamos otras experiencias que vinieran a reforzar la sustentabilidad de las parcelas.

A continuación presentamos algunos elementos de los diagnósticos y reflexiones sistematizadas por los promotores campesinos:

*“El primer cambio tecnológico que recordamos fue el arado de fierro, hace más o menos 60 años. Pero desde los años setenta comenzaron a entrar las semillas híbridas y los fertilizantes, herbicidas e insecticidas químicos. En los primeros años las tierras dieron las mayores cosechas que recordamos, y muchos nos acostumbramos a esos nuevos modos de cultivar. Algunas familias fueron perdiendo formas tradicionales y fueron perdiendo la confianza en sus conocimientos”.*

*“El arado de fierro remueve bien la tierra para la siembra, pero los suelos se lavan más con las lluvias. Los fertilizantes químicos amucharon las cosechas sólo por unos años. Campesinos y parcelas nos acostumbramos a ellos, y ahora son más caros y ya no levantan igual las cosechas, aunque echemos más. Hay terrenos que de a tiro ya están muertos”.*

*“Las semillas mejoradas o híbridas, que también se compran cada año, han venido a ilusionarnos para que abandonemos nuestras semillas criollas, para que dejemos nuestros maíces, pero no en todos los terrenos se adaptan, en algunas comunidades los híbridos que dieron buenos resultados los fuimos aciriollando”.*

*“Los plaguicidas químicos han matado a los insectos que dañan, pero también a los buenos y a la fuerza de nuestras tierras. Con los herbicidas limpiamos más rápido, pero hemos ido perdiendo las formas de trabajo*

<sup>8</sup> Los principios agroecológicos son explicados en el libro ¡SAS! Una experiencia campesina hacia Sistemas Alimentarios Sustentables, coordinado por Catherine Marielle y publicado por GEA en 2008, el cual relata los primeros seis años de experimentación y promoción agroecológica regional del Programa SAS de GEA, iniciados en colaboración con la Sanzekan Tinemi.

*familiar y, sobre todo, nuestra milpa tradicional de muchos cultivos. Ahora hay plagas, enfermedades, hierbas y zacates que antes no había y que difícilmente se controlan, pues ya se hicieron resistentes a los agroquímicos, que además cuestan mucho”.*

El diagnóstico ponía énfasis en que muchas tecnologías comerciales, en vez de resolver los problemas de la producción campesina en esa región los habían hecho más grandes.<sup>9</sup> Los problemas identificados eran muchos: falta de tierras, fertilidad, cambios en el clima, plagas, recursos familiares, emigración, pérdida de confianza en lo propio, entre otros, tal vez por eso algunos compañeros se animaron a conocer otras experiencias.

Comenzó así un proceso de capacitación y experimentación de diferentes prácticas, como los abonos orgánicos (aboneras, bocashi, agropus); salsas, macerados, tés y caldos minerales para el control de plagas y enfermedades; trazado de curvas a nivel y recuperación de prácticas tradicionales para conservar suelo y agua como los tecorrales; selección de semillas desde la parcela, entre otras.

Para compartir las propuestas, y con los acuerdos de probarlas cada quien en su parcela, sistematizar, evaluar y poner en común los resultados, emprendimos la Planeación Parcelaria Ecológica (PPE) en la que cada familia definía las prácticas que se animaría a realizar en el siguiente o los siguientes ciclos agrícolas. Así establecimos las primeras parcelas experimentales y los modos, tiempos y prioridades para darles seguimiento.

Para saber cómo iban saliendo los trabajos, acordamos poner atención en varios indicadores. Los escogimos porque de por sí son señales que campesinos y campesinas observan para apreciar la salud de la milpa y la parcela. Cada año, cuando ya había elotes, se tomaron datos como el grosor y el color de las matas de maíz, la humedad de la tierra, las plagas y enfermedades y la diversidad de plantas comestibles. Ya con la cosecha, se valoró la productividad de la parcela en maíz, frijol y calabaza. Con estos datos, a inicios de cada año nos reunimos para compartir los resultados y planear los trabajos del siguiente ciclo.

La PPE, la experimentación y el seguimiento anual de los resultados comenzaron con 30 familias campesinas de 12 comunidades, animadas a ser “experimentadoras”, con el objetivo de transitar hacia una agricultura orgánica. Con un sistema de monitoreo sencillo nos esforzamos por ilustrar los resultados de los primeros cinco años y analizarlos con los experimentadores, sin olvidar que el mundo campesino es mucho más complejo. En todas las parcelas se habían recuperado o incorporado prácticas ecológicas en diferentes temas de manejo (tipo de semillas, agrodiversidad, rotación de cultivos, fertilización, control de plagas, conservación de suelo y agua).

Pudimos compartir diferentes casos: parcelas que elevaron notoriamente sus rendimientos (de 1,152 a 3,519 kg/ha, como la de Don Florentino García de Topiltepec) y que dejaron totalmente el uso de insumos agroquímicos; parcelas que ya no daban prácticamente nada y fueron recuperando su fertilidad y rendimiento (de 200 a 1,000 kg/ha, en el caso de Doña Vicenta Salazar de La Providencia); y parcelas donde se fueron combinando prácticas agroecológicas y uso de insumos agroquímicos, en función de cada estrategia familiar, también con buenos resultados (Marielle, 2008). Este proceso de evaluación permitió generar cierta confianza colectiva.

Cuando la familia campesina analiza la aportación agroecológica de cada técnica a su parcela, así como sus posibilidades o limitantes para realizarla, y comienza a valorar su viabilidad, entonces inicia el diálogo, se cuestiona la conveniencia de continuar o buscar opciones más cercanas a su realidad. Esto permitió identificar

---

<sup>9</sup> Cabe señalar que el principal cultivo en la región es el maíz (en la mayoría de los casos la milpa), principalmente de temporal y para autoconsumo, algunas familias llegan a vender sus excedentes (en general la región es deficitaria de productos básicos). La mayoría de las familias tienen entre media y dos hectáreas de parcela, algunas no tienen tierras y trabajan como peones o medieros y son menos las que llegan a tener hasta cinco hectáreas. Los terrenos de la región son principalmente de ladera, con pocas planadas, se cultiva con sistemas de labranza, tlacolol y en pocos casos con riego, en alturas de los 900 a los 2500 metros sobre el nivel del mar. El rendimiento promedio se ha calcula en 700 kg/ha. Sierras, cañadas y valles forman un mosaico de climas donde encontramos desde selva baja caducifolia, hasta encinares y pequeñas áreas de pino y encino en las partes más altas, pasando por pastizales y palmares. Caen alrededor de 1200 milímetros anuales de lluvia.

las técnicas más sencillas, baratas y efectivas, las que mejor se adaptaron a los tiempos campesinos y a los materiales locales; y, sobre todo, voltear la mirada a las experiencias y conocimientos de cada comunidad.

Las prácticas orientadas a recuperar la vida y la fertilidad de la parcela han sido las más aceptadas, en buena parte porque responden a uno de los mayores problemas: el agotamiento del suelo y la dificultad para obtener fertilizante, además de la preocupación por los daños que causan los agroquímicos al ambiente y a la salud. Cada experimentador fue adaptando los abonos orgánicos a los materiales, cantidades y formas de aplicación en función de su experiencia y sus posibilidades. En poco tiempo prosperaron conocimientos sobre su eficacia en los diferentes tipos de suelo y cultivos de la región y se desarrollaron procesos organizativos en torno a las aboneras, en varias comunidades se formaron colectivos con el principio de la mano vuelta.<sup>10</sup>

Los talleres a nivel regional y comunitario permitieron, entre 2002 y 2007, involucrar a un centenar de familias de 22 comunidades. Las parcelas experimentales y sus resultados fueron despertando el interés de más personas por acercarse a los experimentadores y eso comenzó a generar espacios propios de intercambio en las comunidades. Los encuentros intercomunitarios favorecieron el intercambio y los lazos regionales.

La reivindicación de la gran variedad de semillas nativas o criollas, aptas para diferentes suelos, climas, temporales, sistemas de cultivo, gustos y sabores, ha sido uno de los ejes. La identificación de *Zea parviglumis* en comunidades del municipio de Chilapa, conocido localmente como acintle, enriqueció la reflexión colectiva sobre los orígenes de la agricultura y la importancia de la defensa de los maíces nativos frente a amenazas como la contaminación transgénica ya presente en milpas campesinas de otras regiones del país (Quist y Chapela, 2001 y Villa et al., 2012).

La clasificación campesina de 16 variedades de maíz, 13 de frijol y cinco de calabaza, además de decenas de verduras nativas y quelites, y la identificación de las diferentes razas y variedades con el apoyo del doctor Rafael Ortega Paczka (Marielle et al., 2012), también motivaron a muchos compañeros y compañeras a sentirse orgullosos de producir sus propios alimentos, mantener esta riqueza y recuperar una alimentación diversa.

En esos años, varios experimentadores dijeron que no era suficiente el trabajo en cada parcela; que tocaba animar a otros compañeros de sus pueblos a entrarle a la recuperación de la tierra y el cuidado de las semillas criollas. Así nacieron los animadores agroecológicos.

## 5. LA PLANEACIÓN COMUNITARIA DE MICROCUENCA

Como ya se mencionó, desde 1994 el Programa Macarena venía colaborando con comunidades de la región para mejorar el aprovechamiento y cuidado de la palma soyate (*Brahea dulcis*), el maguey papalote (*Agave cupreata*) y los montes. Conforme se profundizó en el diálogo, el agua fue apareciendo como el elemento articulador para mirar el territorio y los recursos naturales en su conjunto. Así nació el proyecto Agua Compartida Para Todos,<sup>11</sup> diseñado con las comunidades participantes, y comenzó un proceso de formación de promotores campesinos en el manejo comunitario del agua para apoyar a las autoridades agrarias y los comités del agua de varios pueblos en la realización de su planeación comunitaria de microcuencas.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> La mano vuelta o cambio de brazo consiste en que amigos o conocidos se ponen de acuerdo para juntos llevar a cabo trabajos de cada quien, por lo general pesados.

<sup>11</sup> El proyecto Agua Compartida Para Todos, coordinado por Catarina Illsley, cuenta con el apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte, IAP. Recibió el Premio Estatal al Merito Ecológico 2007 y el Premio Latinoamericano y del Caribe del Agua, otorgado por CATHALAC en Panamá, donde Oxtoyahualco fue finalista en la Categoría Comunidad 2007.

<sup>12</sup> La planeación comunitaria de microcuencas, así como las obras de conservación de suelo y agua y otros aspectos del quehacer de Macarena, se explican en el libro Agua compartida para todos. Una propuesta metodológica para el manejo comunitario del agua, publicado por GEA en 2008.



La microcuenca como unidad de planeación y el agua como recurso eje han permitido integrar los diferentes espacios y subsistemas campesinos (montes, parcelas agrícolas, áreas de pastoreo, barrancas, causes y manantiales, casas y patios, espacios públicos), uniendo los espacios naturales con los sociales: microcuencas y territorio comunitario (Ilsley, 2012).

En los procesos de planeación campesina de microcuencas y en las asambleas comunitarias se fueron analizando el conjunto de propuestas técnicas probadas a lo largo de varios años, en este caso la agroecología en parcelas. Esto permitió acercar a los animadores agroecológicos con las autoridades y los comités de agua y enriquecer los planes de trabajo.

En esta etapa avanzamos articulando más los esfuerzos, reflexionando con las comunidades sobre el papel de las parcelas en las microcuencas. Mirando que la calidad del agua de los manantiales depende de la salud de muchas parcelas, y que los fertilizantes, herbicidas e insecticidas químicos contaminan tierras y aguas; cada vez más familias han retomado propuestas como los abonos y los insecticidas naturales, procurando cuidar el agua, los alimentos y la salud de toda la comunidad.

Las comunidades comenzaron a impulsar, de manera complementaria obras de conservación de suelo y agua con talleres de alimentación de la tierra, cuidado de suelo y agua en la parcela, salud de la parcela y control natural de plagas, selección y cuidado de semillas nativas. Muchos animadores agroecológicos, sin ser una figura formal, fortalecieron su compromiso y sus estrategias de animación.

Actualmente 17 comunidades de la región<sup>13</sup> impulsan planes de manejo campesino de microcuencas, de manejo de especies forestales no maderables (maguey papalote) y cuidado de los montes, de animación agroecológica y tecnologías apropiadas, entre otros trabajos. Se han formado 1081 personas (632 hombres y 449 mujeres) en procesos de agroecología comunitaria, sumando 455 parcelas en una superficie de 333.6 hectáreas cultivadas con prácticas agroecológicas entre 2002 y 2012. Se han establecido 89 parcelas experimentales, más de 800 personas se han formado en diferentes aspectos de la agroecología y las comunidades cuentan con 125 animadores y animadoras agroecológicas. Más de 200 mujeres y sus familias impulsan la sustentabilidad y la autogestión en el manejo de la energía, el agua y la producción de alimentos desde la casa, el patio y el solar; se han formado 54 animadoras que participan de manera destacada en sus comunidades.

Desde el proyecto Agua Compartida Para Todos, con más de 2,000 pequeñas obras comunitarias, se han reactivado manantiales, restaurado suelos, revertido procesos de erosión, construido presas, terrazas y abrevaderos, mejorando la calidad y la cantidad de agua disponible. En 25 escuelas se han impulsado planes de trabajo para tener agua limpia, instalaciones sanitarias dignas y ecológicas, y procesos educativos sobre alimentación y salud basados en la vida campesina. Con la participación de autoridades, padres de familia, maestros, niños, niñas y jóvenes, las escuelas se vuelven una caja de resonancia hacia la comunidad. Por ejemplo, se han levantado 11 huertos escolares para producción de hortalizas.

## **5. LA AGRICULTURA CAMPESINA Y LOS GUARDIANES**

La experiencia técnica acumulada a lo largo de estos años nos ha permitido caminar hacia la comunidad con propuestas concretas. Constatar que parcelas muy degradadas vuelven a dar buenas cosechas ha animado y ha ayudado a recobrar la confianza en la agricultura propia.

---

13 Ahuihuiyuco, Tepozcuaatla, Tenexatlajco, El Peral, El Jagüey, Atenxoxola y Santa Cruz, del municipio de Chilapa; Topiltepec, de Zitlala; Mazapa, Acateyahualco, La Yerbabuena, Anexo Mazapa, Totolzintla, Tlalcomulco, Trapiche Viejo, Xocoyolzintla y Oxtoyahualco, del municipio de Ahuacuotzingo.

Hemos aprendido mucho acerca del carácter comunitario de la agricultura y dimensionado muchos saberes y prácticas que sobreviven junto con el amor a la tierra, a la comunidad y a la cultura. Encontramos formas para recuperar y mantener la vida de los suelos de manera sencilla y barata, que favorecen que los microorganismos benéficos se repongan y vuelvan a ayudar a los cultivos.

Buscando en la memoria, la gente recordaba muchas formas de trabajar la tierra de los abuelos, pero buscando en la comunidad, en los sabedores, en los campesinos de experiencia, vimos que estas ideas y prácticas siguen vivas, se recrean, se actualizan y que cada familia genera innovaciones constantemente, que sus modos de planear consideran las fuerzas y los recursos, los gustos por los sabores y colores de las cosechas y las necesidades específicas.

Existen múltiples prácticas y saberes para alimentar la tierra, hay quienes llevan a sus parcelas el abono de vacas, bueyes, chivos y caballos que se junta en los corrales y los patios, incluso caca de murciélago y majada de hormiga, lama de montes y barrancas, restos de soyate, hojas de maíz y de todo tipo de materia orgánica; otros incorporan jihuities, pajón y rastrojo (los abonos verdes de la región). Con prácticas como el bramadero<sup>14</sup> algunos aprovechan de manera muy eficiente el descanso de la parcela; también existen muchos conocimientos sobre la rotación de cultivos y sobre los tipos de asociación particulares en cada clima, tipo de suelo y sistema de producción.

En todas las comunidades se encuentran experiencias para conservar suelo y agua en las parcelas. La agrodiversidad de las milpas, que muchas familias preservan a pesar de la entrada de los herbicidas, contribuye a mantener la humedad y los equilibrios del suelo, de esta manera con las mismas lluvias y en el mismo espacio se producen gran variedad de alimentos. La agricultura de tlacolol<sup>15</sup> implica conocimientos acumulados durante muchos años para manejar el agua en las parcelas, cuidar la capa fértil del suelo, mantener la humedad y seleccionar semillas especiales; los tecorrales son muros de piedra que ayudan a retener el suelo y su humedad en terrenos con pendientes significativas; el surcado a nivel, desnivel y los cornejales, así como los canales derivadores de corrientes permiten manejar el exceso o la falta de agua.

En parcelas donde se mantiene la diversidad de cultivos, la salud de la tierra y la diversidad de insectos, es más difícil que se presenten plagas o que causen perjuicio. Es común la costumbre de sembrar o tolerar al ruedo de la milpa plantas repelentes y hospederas (Marielle et al., 2012).

Los calendarios agrícolas guardan incontables saberes, los campesinos de experiencia conocen muchas señales sobre los vientos, los calores, los fríos, las lluvias, la luna, y en las pláticas se ayuda la comunidad para tomar decisiones. Diversos conocimientos se toman en cuenta para decidir sobre las siembras y las cosechas, el corte de la leña y la madera, la cría de los animales. El momento de la siembra es una de las decisiones más importantes de las familias. Las que conservan diferentes tipos de semillas y cuentan con parcelas en distintas condiciones agroecológicas tienen mayor seguridad de cosecha aunque el temporal venga malo.

Los rituales y las fiestas agrícolas, como la petición de lluvias para el buen temporal, la xilocruz para agradecer los primeros elotes, San Miguel para espantar al mayantle, que es la pobreza y la necesidad del pueblo, o el huentele u ofrenda para agradecer a la Madre Tierra por la cosecha, muestran el vigor de la agricultura campesina y de la comunidad.

Ahora vemos más claro que en las memorias, prácticas y experiencias, tradicionales e innovadoras, que viven en cada comunidad, está el punto de partida para solucionar muchos de los problemas de la producción y la

<sup>14</sup> El bramadero consiste en amarrar los animales a estacas que se cambian de lugar, por lo general cada semana, en las partes más empobrecidas de la tierra de labor.

<sup>15</sup> El tlacolol es una antigua forma de practicar la agricultura de montaña en laderas de mucha pendiente. Son áreas de monte que se tumban y queman para cultivar maíz con coa por algunos años y después se dejan para que el monte vuelva a crecer. Posibilita la producción de alimentos en laderas a veces pedregosas donde otras tecnologías fracasarían.

alimentación en la región. Esta mirada nos ha llevado a la búsqueda de los sabedores de los pueblos, a quienes llamamos los guardianes.

Nuestro compromiso ha sido el de asesorar a las autoridades, comités y animadores agroecológicos y a toda la comunidad en la búsqueda de información técnica y científica que fortalezca la toma de decisiones. Pero también vemos el reto de acompañar en la construcción de formas de trabajo que favorezcan la recuperación de la memoria y que animen la recreación de los saberes locales, que refuercen la autonomía y la autosuficiencia, que profundicen el diálogo.

## **6. HACIA UNA AGROECOLOGÍA COMUNITARIA**

La etapa actual del trabajo agroecológico se ha construido en diálogo con las autoridades, los animadores y los comités de agua. El propósito es fortalecer la agricultura campesina indígena y la defensa de las semillas criollas, la milpa y todos los espacios que proveen alimentos dentro del territorio, a fin de avanzar hacia la autonomía alimentaria de las comunidades.<sup>16</sup>

En asambleas, talleres, recorridos o festivales se enriquece la planeación familiar y comunitaria del ciclo agrícola. También se evalúan los resultados de las prácticas, se acuerdan las formas y los tiempos del acompañamiento técnico y de la animación comunitaria, se diseñan investigaciones y experimentación sobre los temas que preocupan. De manera particular se informa y se reflexiona sobre nuevas amenazas como los transgénicos y la importancia de la defensa territorial de los maíces nativos.

Se han multiplicado los espacios de intercambio impulsados por promotores, animadores, comités y autoridades. En especial el diálogo para rescatar, generar, analizar, valorar y resguardar conocimientos, buenas prácticas e innovaciones campesinas. Con propuestas educativas se propicia el encuentro entre los más pequeños, los jóvenes, los más grandes y los abuelos.

## **7. ALGUNAS REFLEXIONES FINALES**

En este camino se entrelazan constantemente lenguajes y mundos diferentes. El mundo campesino, basado en la práctica, la experiencia de la realidad y la palabra dicha; experto en las condiciones locales y la sobrevivencia. Y el mundo técnico, el de las teorías, el experimental, el de la palabra escrita, el de los especialistas y las referencias externas (Vargas y Piñeyro, 2005).

Los saberes locales pueden ser fortalecidos con ideas, reflexión e investigación que ayuden a comprender y enfrentar con eficacia situaciones que rebasan el ámbito de control comunitario e impactan en sus capacidades de resiliencia, adaptabilidad y autonomía. Sin embargo, para comprender problemáticas complejas se requiere tiempo, profesionalismo y saberes técnicos que permitan entablar diálogos de saberes fructíferos.

El reto es lograr formas de asesoría respetuosa. Es importante aportar conocimientos profesionales y lograr una perspectiva multidisciplinaria, así como conocer sus propias limitaciones. Es imprescindible saber escuchar y respetar a las personas que viven en el campo, y sus formas de pensar y organizarse.

No pasamos por alto que la sociedad dominante ha menospreciado la riqueza de saberes y estrategias de los pueblos campesinos e indígenas, y que las políticas neoliberales han llevado a desarticularlos, a romper sus tejidos sociales para implantar su lógica: la del dinero.

---

<sup>16</sup> La autonomía alimentaria tiene que ver con el derecho de los pueblos a decidir qué sembrar, cosechar y comer, y con tener control sobre los alimentos que entran y salen del territorio. La autonomía alimentaria de las comunidades y regiones enriquece, fundamenta y comparte sus principios con una soberanía alimentaria como país.

Hemos podido ver cómo los modos extensionistas y la llegada de “soluciones” conducen a la gente a involucrarse en proyectos que transforman sus formas de vida, a veces amarrándola a la dependencia, imponiendo nuevos significados y relaciones dentro del territorio. Los criterios mercantiles como rendimiento y rentabilidad, en sistemas socio ambientales basados en la diversificación y la autosuficiencia, deben ser analizados con detenimiento.

En la región por ejemplo,<sup>17</sup> siguen llegando paquetes tecnológicos (semillas híbridas, fertilizantes, herbicidas e insecticidas químicos) a través de programas de gobierno y las empresas; se han instalado invernaderos de jitomate con su paquete agroquímico,<sup>18</sup> generando en ambos casos dependencia técnica, monetaria y de insumos externos. Son usados con criterios clientelares o partidistas que pasan por encima de la institucionalidad comunitaria. Están llegando proyectos privados de plantaciones de higuera para biocombustible, ofreciendo dinero por hectárea reconvertida que se entrega principalmente en insumos agroquímicos, semillas y alambre para cercar, prometiendo precio y compra de la cosecha, ¿y la producción de alimentos básicos? ¿y el cuidado del suelo para alimentar a la población y a las futuras generaciones?

Mientras tanto, numerosas experiencias agroecológicas han mostrado no sólo sus posibilidades y alcances para sostener la vida en las comunidades, sino también para revivir los mercados regionales e incluso construir nuevas formas de economía solidaria. Estudios importantes han registrado cómo las prácticas, estrategias y conocimientos campesinos e indígenas y las técnicas adaptadas que han incorporado, permiten enfrentar y dar salidas a fenómenos como el cambio en los patrones de la lluvia, los vientos y el calentamiento global.<sup>19</sup>

Esta pequeña experiencia muestra cómo a partir del reconocimiento de las instituciones locales se pueden construir proyectos de desarrollo a nivel regional, elaborados, aplicados y vigilados por las comunidades, desde sus necesidades, prioridades y anhelos. Las comunidades organizadas pueden recuperar sus espacios y sistemas de producción de alimentos, manantiales y causas de agua, montes y biodiversidad. Resguardar y revitalizar año con año sus semillas, como la base para la adaptabilidad y la resistencia al cambio climático.

## REFERENCIAS

- Aguilar, J., T. Gómez y C. Illsley, 2002, Normas comunitarias campesinas e indígenas para el uso y acceso de los recursos naturales, México, GEA.
- Boege, E., 2008, El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia- Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Díaz, L., C. Illsley y C. Marielle, 2008, Integral peasant land-use planning: A method for strengthening local institutions for community-based management of natural resources, 12th Biennial Conference of the International Association for the Study of Commons (IASC). University of Gloucestershire, England.
- Holt-Giménez E., 2002, Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring, University of California-Elsevier Science.
- Illsley, C. (coord.), 2008, Agua compartida para todos. Una propuesta metodológica para el manejo comunitario del agua, México, GEA.
- Illsley, C., 2012, Enfoque y estructura del proyecto Agua Compartida Para Todos, México, GEA [Inédito].
- Marielle, C., 2008, ¡SAS! Una experiencia campesina hacia Sistemas Alimentarios Sustentables, México, GEA.

17 La región de Chilapa no cuenta con grandes recursos estratégicos, ni es considerada prioritaria para la conservación; no han llegado compañías mineras con concesiones para explotación como ha ocurrido en comunidades cercanas de la montaña y la costa. Es más bien considerada una región de reproducción de mano de obra que la producción comercial consume en otros lugares por tiempo parcial.

18 Por un lado, se acelera el deterioro de las bases productivas para obtener beneficios de corto plazo para un grupo de campesinos dentro de la comunidad, cumpliendo metas institucionales que no prevén los riesgos del mercado, ni la disponibilidad de agua; por otro lado, puede implicar situaciones de mayor vulnerabilidad para familias que tienen que invertir dinero y energía en una actividad en la que si un año les va mal tendrán problemas para alimentarse.

19 El Proyecto Andino de Tecnologías Campesinas, en su inspiradora trayectoria, ha visibilizado la importancia del saber andino en prácticas adaptativas para hacer frente al cambio climático (PRATEC 2011). El estudio “Midiendo la resistencia agroecológica campesina ante el huracán Mitch en Centroamérica”, con una importante investigación de campo en Guatemala, Honduras y Nicaragua, permitió identificar tendencias claras en la resistencia agroecológica ante estos fenómenos meteorológicos (Holt-Giménez 2002).

- Marielle, C., L. Díaz, M. López-Alavez y A. Alarcón (coords.), 2012, *Morral campesino. Hacia una agroecología comunitaria*, México, GEA.
- Ostrom, E., 2000, *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva*. México. UNAM-CRIM-FCE.
- Ostrom, E., 2009, A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325, 419-422.
- PRATEC, 2011, *Adaptación al Cambio Climático y Saber Andino*, Lima, PRATEC-Broederlijk Dellen.
- Quist, D. y I. Chapela, 2001, Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico, *Nature* 414, 541-543.
- Rendón, J.J., 2004, *Taller de diálogo cultural*, México, Universidad de Guadalajara-Universidad Iberoamericana.
- Vargas, R. y N. Piñeyro, 2005, *El Hidroscopio*, Montevideo, PNUMA-UNESCO.
- Villa, V., E. Robles, J. Godoy y R. Vera (eds.), 2012, *El maíz no es una cosa: es un centro de origen*, México, Coa-Casifop-Grain-Editorial Itaca.

# IMPLEMENTACIÓN DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL COMUNITARIO: UNA ESTRATEGIA PARTICIPATIVA PARA EL MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL EJIDO DE TUMBISCA, MICH.

Carla Noemí SUÁREZ REYES <sup>a</sup>, José de Jesús Alfonso FUENTES JUNCO <sup>b</sup>, Pablo ZARATE  
SEGURA <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta. C.P. 58190. Morelia, Michoacán, México, email: [csuarez@pmip.unam.mx](mailto:csuarez@pmip.unam.mx)

<sup>b</sup> Escuela Nacional de Estudios Superiores, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta. C.P. 58190. Morelia, Michoacán, email: [jfuentes@enesmorelia.unam.mx](mailto:jfuentes@enesmorelia.unam.mx)

<sup>c</sup> Escuela Nacional de Estudios Superiores, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta. C.P. 58190. Morelia, Michoacán, email: [p.zaratesegura@gmail.com](mailto:p.zaratesegura@gmail.com)

## RESUMEN

El Ordenamiento Territorial Comunitario es un proceso social que implica la construcción de una política pública “construida y sostenida por la sociedad” (Arreola, 2000). Dicho proceso, atiende a un ejercicio de planeación participativa para el desarrollo sustentable y es por ello que el OTC tiene implicaciones en la esfera territorial, productiva, social y ambiental.

Este trabajo resume los resultados hasta ahora obtenidos en el proceso de implementación del OTC en el Ejido de Tumbisca ubicado al sur del Municipio de Morelia, en el Estado de Michoacán, México. El proyecto ha tenido como base conceptual, el considerar que el OTC es una herramienta de planeación espacial para el desarrollo comunitario y la reordenación del territorio en un marco de apropiación y reapropiación del espacio rural bajo un esquema participativo.

El Ejido de Tumbisca decidió, a partir de la aprobación en Asamblea del OTC (elaborado por la UNAM), impulsar proyectos comunitarios para el desarrollo ejidal. De dicho derrotero, se presentan aquí los resultados de trabajos realizados para el componente hidrológico bajo el entendido de que es un proceso social a mediano y largo plazo (Arreola, 2000; Negrete y Bocco, 2003).

Resultados: 1) Ambientales: cercado de 11 manantiales de importancia para el consumo humano, para reducir el impacto de las fuentes de contaminación y evitar el deterioro del suelo por el paso de ganado. Colocación de 4 abrevaderos en zonas ganaderas. Impartición de 23 talleres de educación ambiental en escuelas de primaria, secundaria y bachillerato. Construcción participativa de un vivero para producción de plantas nativas y realizar a largo plazo realizar acciones de reforestación. 2) Sociales: La percepción de las personas sobre la mejora ambiental y social se midió mediante grupos focales y talleres participativos con base en la evaluación del proceso de implementación del OTC. Los resultados indican que la gente percibe una mayor calidad del agua y del suelo. Respecto a la organización comunitaria, la gente percibe mejoras a partir de la implementación del OTC, pero señalan la falta de incorporación y participación de más personas en los diversos proyectos.

Palabras clave: Participación social, Ordenamiento Territorial Comunitario, Implementación del Ordenamiento Territorial Comunitario, Evaluación del OTC.

## INTRODUCCIÓN

El Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC) es un proceso social que implica la construcción de una política pública “construida y sostenida por la sociedad” (Arreola, 2006). Dicho proceso, atiende a un ejercicio de

planeación participativa para el desarrollo sustentable y es por ello que el OTC tiene implicaciones en la esfera territorial, productiva, social y ambiental.

El OTC ha sido una de las estrategias de planeación comunitaria más interesantes e innovadoras del siglo XX iniciándose en los años 80 (Azuela, 2006) y que derivó de prácticas de planeación rural participativa para convertirse en una estrategia (proceso) de ordenamiento del territorio.

Dicha estrategia, está fuertemente ligada al concepto de propiedad ya que se basa en el uso del territorio a nivel parcelario que regula la propiedad a partir de consensos de uso dados al interior de las propias comunidades (Azuela, 2006).

El Ejido de Tumbisca en 2008 tomó la decisión de adoptar un plan de ordenamiento comunitario a partir del cual se construyeron consensos sobre el territorio. Dicho proceso que aquí denominamos de apropiación del territorio debe involucrar cambios en diferentes esferas del desarrollo ejidal: la ambiental (conservación del patrimonio comunitario ambiental, agua, bosque, suelo), la social (organización comunitaria y desarrollo de competencias comunes) y la económico-productiva (a través de proyectos productivos que promuevan mejores niveles de vida y la participación de todos los sectores ejidales).

A este proceso social es lo que llamamos *implementación del ordenamiento territorial comunitario* y ha venido desarrollándose bajo el acompañamiento técnico de la UNAM Campus Morelia.

En aquel año de 2008, el Ejido de Tumbisca desarrolló un esquema de proyectos base que permitieran impulsar el OTC. Uno de esos proyectos base fue el del agua o como se le denominó entonces “proyecto comunitario de conservación y manejo de las fuentes de agua”. Al respecto, es interesante notar el hecho de que uno de los resultados de la participación comunitaria en el OTC pusiera de relieve el uso y manejo del agua como una de las principales preocupaciones del Ejido.

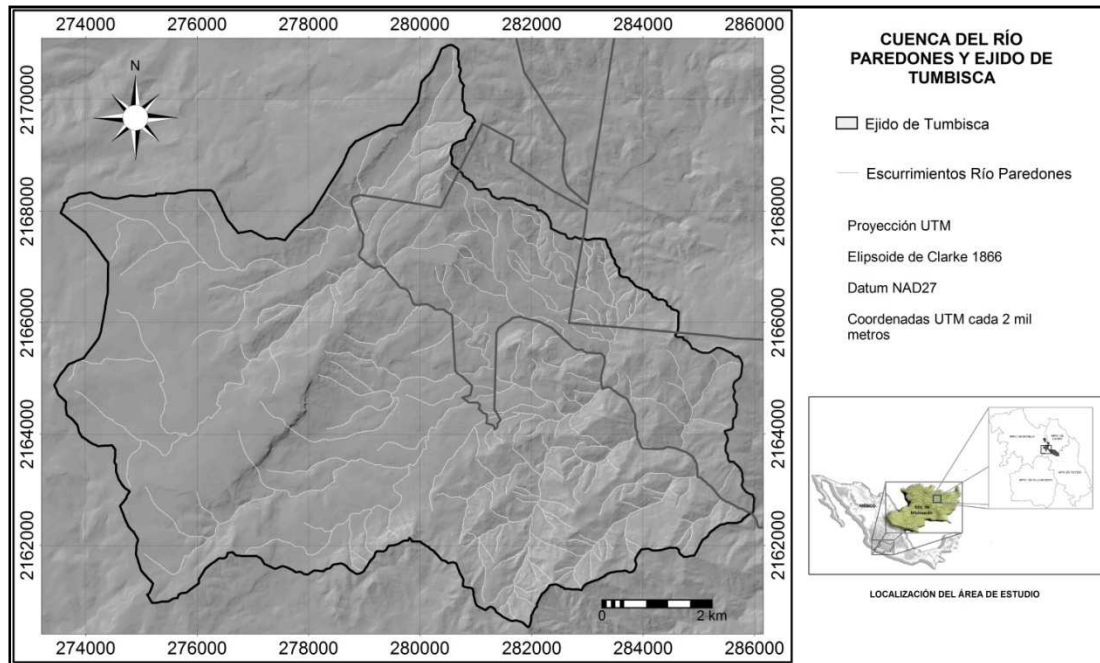
La UNAM a través de la Unidad de SIG del Centro de Investigaciones en Ecosistemas primero, y de la escuela Nacional de Estudios Superiores después, ha venido construyendo y desarrollando los proyectos comunitarios de la mano del Ejido.

El esquema conceptual y metodológico adoptado sigue en general los lineamientos marcados por Arreola (2006) y se fundamenta en el diálogo de saberes para el intercambio técnicos-ejidatarios. En este trabajo, se presentan los resultados obtenidos hasta ahora en la implementación de uno de los proyectos prioritarios del Ejido y que se trata del uso y manejo de las fuentes de agua en la cuenca más importante por su extensión y número de pobladores, la Cuenca del Río Paredones, que es a su vez, tributaria del Balsas y corresponde a la zona de cabecera. Durante el escrito, se pone énfasis en los resultados de las actividades desarrolladas y en cómo el Ejido ha venido sufriendo cambios en su vida cotidiana personal y comunitaria. Se pretende en el corto plazo, tener una medida de la implementación del OTC a nivel de cuencas y de todo el ejido a partir de la construcción de variables sociales y ambientales.

El proceso de implementación del ordenamiento territorial comunitario debe acompañarse de una evaluación participativa que permita conocer la percepción del impacto de los proyectos en términos sociales y ambientales. El principal objetivo es emitir un juicio sobre el proceso para tomar decisiones acertadas que mejoren la acción e intervención que se está realizando (Gil, 2000). Las herramientas utilizadas para realizar la evaluación son 1) Grupos focales que permite impulsar la reflexión colectiva entre los participantes (Pomerov y Tubau, 2005) y recopilar las percepciones de las personas participantes a través de promover la apertura y participación de los mismos (Reyes, 2009); 2) Talleres participativos de evaluación, que son espacios de construcción colectiva en

los que las personas participan activamente como receptores y emisores de conocimiento, es decir, existe un intercambio de saberes respecto a un tema en particular (Candelo, *et al.*, 2003).

El presente estudio toma lugar en la cuenca del Río Paredones, la cual se encuentra al sur de la ciudad de Morelia y se distribuye en los municipios de Morelia, Charo y Tzitzio; cuenta con una superficie de 73.7 km. La cuenca se caracteriza por presentar escurrimientos permanentes, siendo un importante reservorio de agua para el municipio de Morelia. Dentro de esta cuenca se localizan dos localidades del Ejido de Tumbisca: Tumbisca y El Violín, las cuales en conjunto suman tienen una población de 230 personas.



**Figura 1.** Localización del área de estudio en Tumbisca, Mich. Fuente: Elaboración propia.

## OBJETIVO GENERAL

Favorecer mejores condiciones ambientales de las fuentes de agua mediante la participación social.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- Proteger y mejorar las condiciones ambientales de las fuentes de agua para su mejor aprovechamiento.
- Atender las necesidades de abastecimiento de agua para uso doméstico.
- Mejorar la organización social y fomentar procesos autogestivos.
- Brindar talleres de educación ambiental como estrategia conceptual comunitaria de acompañamiento a los trabajos desarrollados.



## METODOLOGÍA

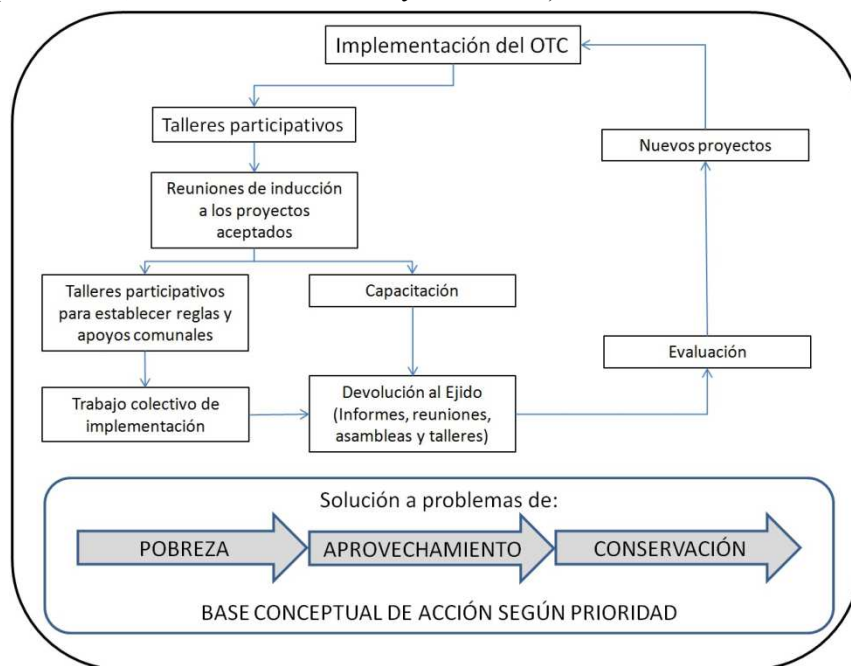
La participación de los ejidatarios y vecindados ha sido un aspecto clave para el desarrollo y elección de los proyectos, por ello es que el enfoque utilizado en el presente estudio es la investigación acción participativa (IAP), la cual es una metodología que tiene como principal objetivo brindar poder, voz y voto a las personas involucradas en el proceso. Es en suma, un tipo de investigación orientada a tener una visión más clara de las problemáticas reales y sus potenciales soluciones (Durston y Miranda, 2002; De Witt y Gianotten, 1988).

Siguiendo el esquema conceptual planteado por Arreola (2007) y Bocco y Rosete (2003) en referencia al ordenamiento territorial comunitario, se decidió combinar esquemas metodológicos de la IAP y el OTC para llevar a cabo la implementación del ordenamiento en Tumbisca.

Por otra parte, el proyecto de OTC planteado en 2008 ha tenido como soporte conceptual el desarrollar las actividades de implementación siguiendo un esquema basado en 3 temas consecutivos pero no necesariamente excluyentes: solución a la pobreza, aprovechamiento de recursos y conservación del medio (figura 1).

La combinación de métodos permitió generar los siguientes pasos en la implementación de proyectos del OTC:

1. Talleres participativos de presentación de los proyectos y toma de decisiones sobre su viabilidad según los propios ejidatarios
2. Reuniones participativas de inducción para la implementación del proyecto aprobado.
3. Capacitaciones y/o talleres participativos. Estos últimos para establecer reglas de participación y apoyo comunitario.
4. Trabajo colectivo, ya sea de comisiones, faenas o labores colectivas y participativas.
5. Devolución al Ejido mediante informes, reuniones y/o talleres.
6. Evaluación de proyectos implementados a través del uso de herramientas de investigación cualitativa (grupos focales, talleres de evaluación y entrevistas).



**Figura 2.** Esquema metodológico de implementación de proyectos del OTC.

## RESULTADOS

### Implementación de las actividades

**Cercado de manantiales e instalación de abrevadero:** A través de la Asamblea Ejidal como mecanismo de participación comunitaria, los ejidatarios decidieron cuáles serían los manantiales que se protegerían tomando en cuenta la importancia y el número personas que se verían beneficiadas así como los lugares donde se colocarían bebederos para el ganado y sanear así los manantiales escogidos. El segundo paso consistió en realizar reuniones para organizar las fechas de las faenas y la composición de los equipos de trabajo. La estrategia siempre fue que participaran en cada equipo beneficiarios directos e indirectos de la protección del manantial. Esto permitió fortalecer la organización y participación comunitaria al mandar el mensaje de que las faenas y labores de protección de manantiales eran de beneficio común. Es importante mencionar que los ejidatarios establecieron como criterio de protección que se cercaran los manantiales que tuvieran presencia de ganado y que el manantial diera servicio a varios pobladores.

En total se cercaron 11 manantiales, 9 se localizan en los alrededores de la localidad de Tumbisca, estos manantiales benefician directamente a 177 personas de dicha localidad. Además, se cercaron dos manantiales más al sureste del Ejido, en la localidad del Violín, los cuales benefician a 14 personas. El uso que se les da a los manantiales es diverso, en la localidad de Tumbisca, se utilizan para labores domésticas, aseo personal, consumo, riego y abastecimiento de agua para ganado. Mientras que en la localidad del Violín se utilizan exclusivamente para consumo humano y ganadero, esto se debe a la escasez del recurso en la zona, lo cual se traduce en la carencia de actividades productivas.

Sumado a la protección de los manantiales se instalaron cuatro abrevaderos, el principal propósito fue reducir la compactación del suelo y la contaminación de los cuerpos de agua. Actualmente, se realizó una evaluación visual y se percibe la recuperación de la zona. Algunas de las observaciones son las siguientes: mejor cobertura vegetal, mayor calidad visual del agua del afluente y menor erosión y degradación del suelo. Estos parámetros serán evaluados cuantitativamente.

**Vivero forestal:** Para decidir el espacio que se destinaría al establecimiento del vivero, el equipo técnico de la USIG, llevó a cabo una reunión con la Asamblea Ejidal mostrando los requisitos que debería tener el terreno para la instalación del vivero. El mecanismo de participación libre, permitió que dos ejidatarios ofrecieran algunas de sus parcelas, las cuales cumplían con los requisitos establecidos, para que finalmente, la Asamblea Ejidal tomara la decisión. Mediante faenas se realizó y se avanzó en la instalación del vivero. Hasta ahora se ha impartido una capacitación a los ejidatarios para el manejo del mismo.

La donación del terreno para la construcción del vivero estuvo a cargo de uno de los ejidatarios que además, en ese momento era parte de la mesa directiva lo cual tiene un importante significado solidario y colectivo. La instalación del vivero requirió nuevamente de la participación activa de los ejidatarios a partir de faenas que consistieron en la adecuación del terreno y en la instalación de la estructura del mismo. Como en las demás actividades que se han desarrollado, el esquema de implementación se desarrolla a partir de reuniones de inducción para una mejor aceptación del proyecto y de capacitaciones, las cuales se encuentran en marcha. Es importante mencionar que el vivero se encuentra por ahora en un estado de atraso debido sobre todo a la falta de participación y que inició con la falta de dinero de fondos solicitados los cuales llegaron de manera tardía. Este proceso se encuentra en evaluación, pero los ejidatarios han expresado de cualquier forma su interés de sacar a flote el proyecto.

**Sistemas agroforestales:** El sistema agroforestal ha sido una actividad propuesta por el propio ejido desde la aprobación del OTC y que se manifestó en la preocupación que tenían por la erosión de sus suelos y que el “bosque se estaba acabando”. Como resultado, se incorporó esta actividad al manejo del agua y del suelo en la cuenca de Paredones. Para el desarrollo de esta actividad, se llevaron a cabo talleres y reuniones de inducción, además de capacitaciones para que el ejidatario instalara los diseños agroforestales propuestos.

Con la colaboración de dos personas que realizaban su estancia de investigación y servicio social en la UNAM, se logró impartir dos talleres dirigidos al establecimiento de sistemas agroforestales. Posteriormente, se llevaron plántulas de especies de árboles del área y se repartieron entre ejidatarios y avecindados de las diferentes localidades. Es importante mencionar que la primera remesa de árboles se adquirió con otro ejido (Algodón de Oropeo) que ya contaba con un vivero. Así se pretendió dar dos mensajes principales: por un lado, que Tumbisca se viera reflejado en el trabajo comunitario del otro ejido y por el otro, que la implementación de un vivero requiere de trabajo solidario, colectivo y participativo.

El proyecto ha finalizado con un éxito de moderado a bajo debido a condiciones de traslado y oportunidad que se tuvo en la distribución de los árboles derivado de la oportunidad con que se recibieron los fondos.

**Sistemas de captación de agua pluvial:** En todo el Ejido se colocaron ocho sistemas de captación de agua pluvial, sin embargo, en la cuenca de Paredones, sólo se colocaron dos. Para decidir las personas que se verían beneficiadas se tomaron los siguientes criterios:

- a. Participación en los demás proyectos desarrollado en el Ejido.
- b. Que vivieran permanentemente o la mayor parte del tiempo en la localidad.
- c. Que lo necesitaran.
- d. Se le daría prioridad a los ejidatarios y posteriormente a los avecindados.

Una vez que se definieron las ocho familias, se convocó a una junta en la que se le explico que para poder acceder al apoyo deberían comprometerse a participar de forma colectiva, es decir, los beneficiados se apoyarían mutuamente en la construcción de cada cisterna. El esquema seguido en esta actividad fue iniciar con reuniones de inducción de la ecotecnia para asegurar su aceptación. Adicionalmente, el acompañamiento técnico involucró no solo a los académicos de la UNAM, sino que se buscó acompañamiento técnico profesional con personal capacitado en la construcción de cisternas de ferro-cemento quien instruyó, acompañó y verificó a los ejidatarios en la elaboración de las primeras cisternas. Este proyecto busca atacar uno de los principales problemas de marginación padecidos por las localidades más sureñas del ejido y que es la falta de suministro de agua doméstica.

La construcción de los sistemas de captación de agua pluvial surge como una necesidad vital para las personas que habitan en la parte sureste del ejido ya que estas localidades se encuentran en una zona de transición a selva baja caducifolia la cual, con una precipitación promedio de 600 milímetros de agua, tiene un clima semicálido subhúmedo con una marcada estacionalidad que deja más de 6 meses sin lluvias. Aunado a esto, la zona se caracteriza por su marcada dificultad en el acceso, no cuenta con agua potable y tampoco con luz eléctrica. Por estos motivos fue una prioridad implementar esta tecnología alternativa que permitiera satisfacer en gran parte las necesidades del recurso hídrico durante los meses de sequía.

El proceso para la construcción de las ocho cisternas de ferrocemento llevo aproximadamente dos meses, es de resaltar que las personas establecieron las dinámicas de organización y participación colectiva. Actualmente, los sistemas están por iniciar su funcionamiento en espera de su primera cosecha de agua.

**Talleres de Educación Ambiental:** La educación ambiental se concibe aquí como un instrumento para el desarrollo sustentable (Čiegis y Gineitienė, 2006). Este proyecto Para el desarrollo de las actividades se contó con el apoyo de nueve estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la UNAM, quienes realizaron su servicio social y/o estancia de investigación en la USIG a través de un programa de servicio social del IMJUVE. El programa tuvo como base cinco temáticas, éstas son las siguientes: Bosque, Agua, Biodiversidad, Cambio Climático y Agricultura Ecológica.

Antes de estructurar los subtemas de cada una de las temáticas se realizó una consulta con los profesores de los diferentes grados escolares del Ejido de Tumbisca, con el objetivo de identificar los aspectos de mayor relevancia. Además, previo a los talleres de educación ambiental se realizaron reuniones de trabajo y capacitación en talleres con los estudiantes para establecer las metodologías y definir los materiales didácticos que se utilizarían para cada taller.

Se llevaron a cabo 23 talleres en tres niveles escolares: primaria, telesecundaria y telebachillerato, en total participaron 86 personas. Cada uno de los talleres se diseñaron en base a las necesidades del público al que iban dirigidos, es importante mencionar que la primaria y la telesecundaria son multigrado, por lo que se realizaron dinámicas que incluyeran y promovieran la participación de todos los estudiantes. Respecto al telebachillerato se dieron dos talleres por cada temática, uno para el primer semestre y el segundo para el tercer semestre. A continuación, se presentan el número de beneficiarios en cada taller y el número de talleres impartidos por grado escolar.

Grado	No. de participantes
Primaria	16
Secundaria	22
Primer semestre de Telebachillerato	16
Tercer semestre de Telebachillerato	23
<b>TOTAL</b>	<b>86</b>

**Tabla 1.** Numero participantes a los talleres

Grado	Bosque	Agua	Biodiversidad	Reciclaje y Separación de Basura	Cambio Climático	Agricultura Ecológica	No. de talleres
Primaria	1	1	1	0	1	1	5
secundaria	1	1	1	1	1	1	6
1er. Telebachillerato	1	1	1	1	1	1	6
3er. Telebachillerato	1	1	1	1	1	1	6
						<b>TOTAL</b>	<b>23</b>

**Tabla 2.** Numero de talleres impartidos por grado escolar

## Evaluación social del proceso de implementación del OTC

**Grupo focal para la evaluación de la percepción social:** En esta actividad se contó con la participación de 58 personas, dado el número de asistentes se dividió en cuatro grupos de trabajo, cada uno con un facilitador experto. El esquema de trabajo fue el mismo para todos los grupos, se establecieron temas clave con preguntas guía que permitieron evaluar la percepción de las personas.

- 1) El proyecto de manejo y mantenimiento de las fuentes de agua resuelve problemáticas reales de la comunidad.

Sí, consideran que la calidad del agua ha mejorado desde que se cercaron sus manantiales, también existe una mayor retención del suelo por los árboles que han crecido alrededor de las fuentes de agua. El vivero es importante porque una vez que estén operando permitirán producir planta nativa para reforestar y árboles frutales para sus casas.

Las acciones de reforestación (sistemas agroecológicos) en el sur del ejido son importantes porque no hay árboles en esa zona y sirven para aumentar la recarga de agua en esa zona. También la elaboración de pequeños tanques de almacenamiento de agua fueron importantes dada la escasez de agua en esa zona. Las personas de las localidades más marginadas del ejido se mostraron muy agradecidas ya que nadie había ido a apoyarlos.

- 2) ¿Qué ha pasado desde que la UNAM empezó a trabajar?

Consideran que el Ejido se ha visto beneficiado con capacitación, proyectos de los cuales en un futuro se puede obtener ganancias y han aprendido que las cosas se deben hacer en grupo y por el bien de todos. También menciona que la gente se ha organizado más a pesar de que aun no es suficiente el grado de organización que tienen. Además, el ejido tiene asesoramiento para poder crear proyectos.

A partir del OTC se dio a conocer de manera más relevante la presencia del ejido ante las diferentes instituciones de gobierno y a través de la UNAM se consiguieron más proyectos. Ahora hay mayor protección a sus recursos naturales. Tienen más experiencias y conocimientos. Capacitación para poder organizarse.

- 3) Qué pasaría si la UNAM no estuviera aquí.

Consideran que el Ejido seguiría igual, no tendría ninguno de los proyectos que hasta la fecha se han generado, ahora tienen conocimiento de cómo gestionar algunos recursos, reconocen que el ordenamiento es importante. Ellos antes tenían la intención de hacer algo como los proyectos pero no sabían cómo hacerlo.

La intervención de la UNAM es importante porque se han hecho cosas. También agradecen que se han hecho cosas y que no se ha cobrado por ningún servicio.

*“Se estaría como ciego”; “Sin la UNAM no hay cambios”.*

**Talleres participativos de evaluación:** Estos talleres se realizaron con estudiantes de primaria y secundaria de la localidad de Tumbisca, en total, se contó con la asistencia de 52 estudiantes. Las respuestas que se obtuvieron tanto en el taller de primaria como en el de secundaria fueron muy similares, los estudiantes de ambos niveles reconocieron por igual la importancia de preservar el recurso hídrico.

Algunas de las cuestiones que es imperante resaltar es que los estudiantes reconocen la interrelación existente entre las temáticas impartidas en los talleres de educación ambiental para la conservación de todos los recursos naturales. Específicamente en el caso del agua, mencionaron la trascendencia de cuidar el bosque para asegurar la provisión del oxígeno y filtración del recurso hídrico y evitar la tala de árboles, acción que contribuye al

cambio climático. También una constante que mencionaron fue evitar la contaminación de cualquier cuerpo de agua y no desperdiciarla.

<b>Número total de talleres impartidos</b>	<b>Número de beneficiarios en cada taller</b>	<b>Localidad</b>	<b>Proporción de beneficio en comparación con la población potencial</b>	<b>Proporción de frecuencia</b>	<b>Grado final de beneficio</b>
6	60	Tumbisca	0.91	1	<b>0.91</b>
1	9	Violín	0.64	0.17	<b>0.11</b>

**Tabla 3.** Grado de beneficio final de los talleres de educación ambiental.

Adicionalmente a los talleres de evaluación, se decidió complementar con el grado final de beneficio de los talleres de educación ambiental, para este objetivo se obtuvieron dos parámetros. El primero fue la proporción de beneficio para ello, se hizo una relación entre el número de personas que tomaron los talleres y los individuos que potencialmente pudieron haberlos tomado; se consideró a sujetos que viven en las localidades y cuyo rango de edad se corresponde a la edad escolar. El segundo parámetro fue la proporción de frecuencia de los talleres, en el cual se consideró el máximo número de talleres que se brindaron y su proporción por localidad en referencia al máximo. Finalmente, se multiplicaron ambos indicadores y se obtuvo el grado final de beneficio.

Los resultados demuestran que la localidad de Tumbisca posee un alto grado de beneficio, esto se debe a que hubo una alta asistencia estudiantil y se impartieron todos los talleres propuestos en el programa integral de educación ambiental para el Ejido de Tumbisca. La localidad que tuvo menor beneficio fue el Violín, lo anterior como resultado de la lejanía de la localidad e ineficientes vías de comunicación, lo cual afectó en la impartición de talleres.

### CONCLUSIONES

La implementación del OTC en el Ejido de Tumbisca es un proceso social participativo que ha impulsado la participación de las personas en procesos de acción colectiva que tienen como primordial objetivo su bienestar social, ambiental y económico. Las acciones realizadas en la presente propuesta han tenido un impacto benéfico en las condiciones ambientales de las fuentes de agua en el ejido, reflejándose en un mayor volumen del afluente y menor contaminación del agua superficial. Paralelamente, los talleres de educación ambiental han impactado en el aumento del conocimiento de las problemáticas ambientales y sus potenciales soluciones, sin embargo, hasta el momento no se ha podido evaluar si el conocimiento ha sido internalizado por los estudiantes y reflejado en el manejo de su territorio. Finalmente, al medir las percepciones de las personas del ejido, se vislumbra que el agente externo (UNAM) ha detonado procesos benéficos en la comunidad, por ejemplo, mayor participación, proyectos diseñados en base a sus necesidades, capacitaciones y mayor cohesión social. Sin embargo, aún hace falta fortalecer ciertos aspectos como la reducción de la pobreza a través de proyectos productivos que contemple a la par el manejo sustentable de los recursos naturales.

El compromiso social y ético de acompañamiento técnico en la implementación del OTC es el único camino seguro para lograrlo. Dicho compromiso requiere años de acompañamiento en una espiral descendente en

términos de la dependencia de la comunidad hacia la intervención del agente externo. Por lo anterior, aún es necesario el desarrollo de indicadores ambientales, sociales y económicos que permitan medir la trascendencia de dicho compromiso en el ejido de Tumbisca.

### **AGRADECIMIENTOS**

El presente proyecto se realizó con el apoyo financiero de los siguientes programas: 1) Programa de Conservación Comunitaria de la Biodiversidad (COINBIO) de la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), durante el periodo de Abril a Septiembre del 2011. 2) Proyectos de conservación y producción sustentable del Patrimonio Natural del Estado de Michoacán de SUMA, durante los siguientes periodos: Agosto a Octubre del 2011, Mayo a Julio del 2012 y Febrero a Abril del 2013. 3) Programa Agua para Comunidades Marginadas de la Fundación Gonzalo Río Arronte, durante el periodo de Enero del 2013 a Enero del 2016.

También agradecemos lo más ampliamente posible la intervención de los estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la generación 2009-2012 para generar los talleres de educación ambiental como parte de su trabajo social.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Candelo, C., Gracia A. y Unger B. 2003. Hacer Talleres: Una guía práctica para capacitadores. Fondo Mundial para la Naturaleza, InWent e IFOK. Pp. 204
- Čiegis, R., D., Gineitienė. 2006. The Role of Universities in Promoting Sustainability. *Engineering Economics*. No 3 (48)
- Gil Zafra, M. A., (2001) Algunas nociones sobre la evaluación de programas: evaluar para transformar, en Villasante, T. R., Montañes, M. & Martín, P. [Coords.] *Prácticas locales de creatividad social. Construyendo ciudadanía/2*. El Viejo Topo. Madrid.
- Durston, J. y Miranda, F. 2002. Experiencias y metodologías de la investigación participativa. Naciones Unidas, División de Desarrollo Social.
- Pomerov, M. y Tubau, E. 2005. Guía práctica para la evaluación de procesos participativos. Ayuntamiento de Barcelona.
- Reyes, T. 2009. Métodos cualitativos de investigación: los grupos focales y el estudio de caso. *Forum Empresarial*; Vol.4 Num.2
- Arreola, 2006. Principios del Ordenamiento Territorial Comunitario. En: Anta F.S, Arreola M. A., González O.A. y Acosta G. J. Comps. *Ordenamiento Territorial Comunitario. Un debate de la sociedad civil hacia la construcción de políticas públicas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto de Ecología. 254 p.
- Azuela A., 2006. (Coord.) *El ordenamiento ecológico del territorio en México: génesis y perspectivas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 164 p.
- Negrete G. y Bocco V.G. 2003. El ordenamiento ecológico comunitario: una alternativa de planeación participativa en el contexto de la política ambiental de México. *Gaceta Ecológica*, julio-septiembre, No. 068, Instituto de Ecología. México. pp. 9-22.

# PROCESOS SOCIALES Y DESARROLLO RURAL EN LA MICROCUENCA GUADALUPE VICTORIA, SALTILLO, COAHUILA

Lorenzo Alejandro LÓPEZ BARBOSA<sup>a</sup>, Rita Carmen FAVRET TONDATO<sup>b</sup> Griselda VALDES RAMOS<sup>c</sup>

<sup>a b, c</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. [lolopez@uaaan.mx](mailto:lolopez@uaaan.mx)

## RESUMEN

En el presente trabajo se analiza la instrumentación del Plan Rector de Producción y Conservación (PRPC) en la Microcuenca Guadalupe Victoria del municipio de Saltillo, Coahuila, a fin de identificar el impacto de las políticas públicas en el desarrollo rural territorial. Partiendo de sistematizar y analizar el proceso de integración del PRPC elaborado en 2002 y actualizado en 2007, así como de identificar los principales impactos y beneficios obtenidos y el alineamiento de las acciones emprendidas con las estrategias definidas. Se discute la pertinencia de los proyectos propuestos y la participación de los habitantes en la elaboración y seguimiento del PRPC. Considerando que para lograr una gestión integrada de cuencas se requiere la combinación de diferentes elementos y procesos, es importante analizar e identificar las estrategias de apropiación de los recursos naturales y la participación de los campesinos en la operación de las políticas públicas, especialmente cuando persisten estrategias campesinas multiactivas y de subsistencia; donde se presenta una problemática relacionada con la pérdida de la superficie vegetal original y una mala práctica de manejo ganadero, situaciones que han traído secuelas que se manifiestan en un incremento de la pérdida de suelo y presión sobre los recursos naturales y la disminución de la rentabilidad de la producción ganadera extensiva, por lo que las acciones que se deben impulsar con el PRPC debieran estar orientadas hacia la restauración, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Se señala que debe favorecerse una mejora en la elaboración y el seguimiento operativo del PRPC.

**Palabras clave:** Microcuenca, desarrollo rural sustentable, territorio, procesos sociales.

## 1 INTRODUCCIÓN

La planeación y gestión del territorio como estrategia para el desarrollo rural se sustenta en la necesidad de promover una nueva forma de intervención institucional que propicie que el desarrollo de un territorio se base en la existencia de mecanismos estables y coherentes de coordinación entre los actores públicos, sociales y privados, sustentado en la participación local en la definición de las estrategias particulares y en su implementación.

Desde el punto de vista operativo, la microcuenca posee un área que puede ser planificada mediante la utilización de recursos locales, que puede ser tratado como un núcleo social que comparte intereses comunes y donde ocurren interacciones indivisibles entre los aspectos económicos, sociales y ambientales; que deben de ser consideradas en la planificación del uso y manejo de los distintos recursos de la misma, y para lograr una gestión integrada de cuencas se requiere la combinación de diferentes elementos y procesos que consideren todos los recursos naturales presentes en determinado territorio, donde la toma de decisiones dentro de la unidad de manejo sólo se logra con gran participación social.

En el caso de México, se instrumentó en el año 2001 el Programa Nacional del Microcuencas, que operó a través de la promoción de proyectos que posibiliten a los habitantes de las microrregiones diversificar sus actividades productivas con mejores alternativas para mejorar el ingreso de los productores y elevar el nivel de vida de las



familias rurales, estableciéndose como elementos fundamentales para su operación, el promover la organización, la autogestión y el reconocimiento de los servicios y satisfactores ambientales, para promover la concurrencia de recursos públicos, privados y crediticios que favorezcan el desarrollo rural sustentable (SAGARPA, 2005: 274); señalándose que las principales ventajas de trabajar por cuenca hidrográfica son las siguientes:

1. Aumenta la posibilidad de obtención de resultados positivos y de mayor impacto con las acciones dirigidas a l uso y manejo racional y eficiente de los recursos naturales, en una unidad territorial perfectamente definida con características ambientales y socioeconómicas muy homogéneas.
2. Facilita la visión de los habitantes de manera individual y como comunidad para las interacciones existentes entre la producción y los recursos utilizados para lograr la misma.
3. Permite hacer un manejo y facilitar la interacción entre diferentes temas e instituciones que prestan servicios o tienen injerencia en los trabajos que se realizan en la cuenca (actividades agropecuarias, turísticas, comercio, de dotación de servicios etc.)
4. Facilita y permite optimizar el uso de los recursos financieros, humanos, tecnológicos y materiales en el trabajo de asistencia técnica, investigación, fomento y desarrollo, al tener un espacio geográfico que permite concentrar esfuerzos y voluntades facilitando la coordinación intra e interinstitucional .
5. Constituye un ámbito de planeación y ejecución de acciones complementarias y sinérgico con la unidad de producción y la comunidad; en ninguna situación ellos son excluyentes (SAGARPA, 2002).

Lograr lo anterior, se requiere llevar acabo el análisis de la problemática con la participación de los actores locales a fin de promover su participación en el proceso de manejo sustentable y toma de decisiones, donde la caracterización biofísica y socio económica como punto de partida, permite conocer las características de la microcuenca y los procesos que en ella ocurren, con el propósito de definir propuestas de proyectos y alternativas de solución para atender la problemática identificada, que en muchas ocasiones requiere de la participación coordinada de otras dependencias, que en muchas ocasiones están ausentes en el proceso.

El manejo de cuencas se conceptualiza entonces, como una estrategia colaborativa amplia que posibilita la resolución de un complejo conjunto de problemas interrelacionados entre sí, proceso que requiere la concurrencia, cooperación y colaboración de diversos actores bajo una visión común (Cotler, 2010. Cotler y Caire, 2009).

Para el caso que nos ocupa, se analizó el Plan Rector de Producción y Conservación (PRPC) de la microcuenca Guadalupe Victoria, Municipio de Saltillo, Coahuila, el cual fue elaborado en 2002 dentro del Plan Nacional de Microcuencas; recurriendo a fuentes bibliográficas y a talleres de auto diagnóstico, donde los productores analizaron su problemática de producción y definieron estrategias de desarrollo. Entre los objetivos del mismo se consideraron el desarrollo integral familiar y comunitario, la degradación de los recursos naturales por el uso pecuario inadecuado y la degradación del suelo.

Los productores de la microcuenca son principalmente campesinos ejidatarios que practican la agricultura bajo condiciones de temporal errático y aprovechan los escurrimientos superficiales de la escasa agua de lluvia. Un año de buena producción se intercala con otros sin producción de granos de maíz por la sequía. Lo que ha provocado la migración de las personas en busca de mejores oportunidades hacia las ciudades cercanas de Saltillo y Monterrey. Además, los ejidatarios practican la ganadería extensiva en pequeña escala y la recolección de productos forestales no maderables como la lechuguilla, el cortadillo y el orégano.

En el PRPC se expone que las actuales políticas públicas y programas promueven la asociación entre los productores ejidales y comunales para la capitalización de su unidad productiva, y así lograr la operación de proyectos de inversión rentables y favorecer las condiciones para alcanzar niveles competitivos que les permitan

participar en el mercado en forma rentable. Las actividades que realizan las organizaciones de productores están sustentadas en la participación voluntaria y la conjunción de esfuerzos de sus miembros para generar utilidades, a través de procesos productivos y comerciales que fortalezcan el alcance de un nivel de vida favorable, como (Ovalle, 2002).

Asimismo, establece que los principales problemas de la actividad agrícola son:

- 1.- Falta de mano de obra.
- 2.- Nula capacitación y asistencia técnica.
- 3.- Falta de maquinaria agrícola.
- 4.- Presencia de plagas y enfermedades en los cultivos y el suelo.
- 5.- Mal manejo de los escurrimientos.
- 6.- Degeneración de materiales criollos de maíz y frijol.

## 2 LA MICROCUENCA GUADALUPE VICTORIA

La microcuenca Guadalupe Victoria, ubicada en la región sureste de Coahuila, al sur del municipio de Saltillo, tiene una forma irregular, con una superficie es de 31,096-56 ha, y se encuentra delimitada por Sierras en casi todo su perímetro, esto permite que en épocas lluvias los escurrimientos lleguen a la parte baja y sean aprovechadas por la comunidad. El clima es clima seco o estepario, semicálido, con invierno fresco.

Debido a las notables diferencias de altura (de los 2,460 a los 1950 msnm.), en un tramo de aproximadamente 18 km de longitud que compone la microcuenca existe una diversidad de topofomas: serranía, lomerío y bajada. Por tal razón, los arroyos bajan de manera torrencial cuando las aisladas pero generalmente copiosas lluvias se hacen presentes en las sierras que se encuentran localizadas en la mayor parte del perímetro de la cuenca. La temperatura media anual es de 16°C, con temperaturas promedio mínimas en invierno de 3°C y máximas en verano de 25.8°C. Las precipitaciones anuales promedian los 437 mm, concentrándose en primavera-verano con 325 mm.

En la sierra dominan las plantas con hojas dispuestas en rosetas (crasirosulifolios espinosos) como lechuguilla (*Agave lechuguilla*), maguey (*Agave scabra*) y sotoles (*Dasyliirion* spp), con algunos elementos de matorral subinorme como el agrito (*Berberis trifoliolata*) aunque existe una superficie mínima cubierta de bosque de pino (*Pinus cembroides* y *Pinus* sp).

En los valles la vegetación original es de matorral subinorme compuesta principalmente por la albarda (*Fouquieria splendens*) y granjeno (*Celtis pallida*), Corona de Cristo (*Koeberfinia spinosa*) y mariola (*Parthenium incanum*), aunque actualmente se desarrollan asociaciones de matorrales crasirosulifolios, matorral inorme y pastizal natural en condiciones muy degradadas por el sobrepastoreo.

Los lomeríos sustentan una vegetación compuesta en su totalidad por asociaciones de lechuguilla, maguey y sotol con matorral subinorme.

En las mesetas existe bosque de pino (*Pinus* sp.) y encino (*Quercus* spp.), asociado con matorral crasirosulifolio.

Las áreas de pastizal natural con matorral subinorme se encuentran en condiciones conservadas. La fauna de la zona está caracterizada por la presencia de pequeños mamíferos propios de hábitats de matorrales desérticos.

Las actividades productivas de base en la microcuenca Guadalupe Victoria son la agricultura de temporal con aprovechamiento de escurrimientos superficiales y la agricultura de riego (100 ha en la comunidad Guadalupe Victoria), la ganadería de caprinos y bovinos de carne en libre pastoreo del agostadero comunal.

El sistema de producción de la microcuenca corresponde al *Sistema de Producción Tradicional Ixtlero*, que se basa en: la producción de maíz y frijol de temporal, en el pastoreo de pequeños hatos de cabras y en la obtención del ixtle de lechuguilla y palma samandoca. Eventual y temporalmente los campesinos trabajan como asalariados (urbanos o rurales) y la producción de traspatio representa un complemento pequeño pero no despreciable del ingreso.

Debido al déficit de humedad del suelo, en la microcuenca la agricultura necesariamente tiene que llevarse a cabo con el apoyo de infraestructura rústica para el control y aprovechamiento de los escurrimientos de agua de lluvia. Se trabaja con una superficie de labor destinada para cultivos maíz, trigo y frijol. Actualmente, algunos campesinos están dispuestos a sembrar otros cultivos más remunerativos como la papa y frutales así como la producción intensiva de forrajes en el área de riego que actualmente no se está aprovechando (en el ejido Guadalupe Victoria) y que se busca vender por parte de la comunidad ante la falta de recursos para producir en ella.

La diversificación de las actividades predomina en los campesinos de la región, ya que según el paso de los años, la experiencia y la costumbre les ha enseñado que es una manera segura de sobrevivir, articulando diversas estrategias de vida, asegurando así la reproducción de la unidad doméstica, que como ejemplo se tiene a la familia que dedica una parte de su tiempo a las labores agrícolas como una manera para obtener alimento para la familia y, así como la otra parte, la dedica a la ganadería extensiva, principalmente de caprinos, en muchos de los casos, está última como el principal medio de subsistencia para generar recursos económicos que cubran los gastos de alimentación, vestimenta y educación o simplemente como medio de intercambio que a corto plazo permita complementar los gastos que genera la familia, y así obtener ingresos monetarios (venta de leche o cabritos en pie) o bien como un medio de ahorro en caso de algún problema que se presente en la familia, principalmente la ganadería extensiva de bovinos.

Algunas de las mujeres por costumbre participan en la ganadería de traspatio (algunos porcinos) o colaboran con las actividades de manejo del hato caprino (ordeñan y limpian los corrales). La mayor parte de las mujeres, además de las labores domésticas, participan en las estrategias de vida de la unidad doméstica con la recolección de algún recurso forestal muy propio de la región como es el orégano, leña, hojásén, flores de palma, etc.

Las estrategias de vida de los campesinos están sustentadas en la diversificación de sus acciones, en función de los recursos disponibles, ya sea en la ganadería de bovinos o caprinos, o en el caso de la recolección de la lechuguilla para obtener la fibra. Las actividades de recolección de orégano y cortadillo son actividades complementarias a alguna de las anteriores.

La situación de la ganadería es representativa del tipo de problemas fundamentales a que se enfrenta la región en la actualidad. Se observa por una parte, una distribución desigual de la propiedad de los animales entre los ejidatarios; en general, quienes poseen ganado bovino son los integrantes de mayor capacidad económica y que forman parte del poder real del ejido; aun cuando esta es una actividad complementaria a los ingresos o como un ahorro para fiestas o urgencias familiares. Estos productores destinan parte de sus tierras de labor a la producción de forrajes, como la avena.

También se ha destacado el grado excesivo de sobrepastoreo y deterioro del agostadero como recurso natural, en el marco de una explotación extractiva que se realiza en una "tierra de nadie", y cuya suerte y manejo el colectivo finalmente se desinteresa, estando en cierto modo imposibilitados de racionalizar y administrar el uso del agostadero, por motivos que se combinan desde un nulo control compartido del recurso, a una percepción y comprensión limitada del problema técnico.

Como ejemplo está el caso del año 2011, donde la combinación de heladas extraordinarias en los meses de febrero y marzo con un largo periodo de estiaje, hizo necesario que la mayor de los productores combinara su

actividad extensiva en el agostadero con el pastoreo en las superficies agrícolas recién cosechadas para aprovechar los esquilmos, dada la falta de pastos y especies comestibles para el ganado. De igual manera, la falta de apoyos constantes limita la sanidad y el mejoramiento genético de los hatos, con sus consecuencias en la calidad del ganado.

La caprinocultura se lleva a cabo principalmente como de cría extensiva basada en el agostadero con pastoreo diurno (todos los días del año) y refugio nocturno. Esta actividad carece de buena organización entre los productores, ya que en la actualidad ha tenido mayor relevancia principalmente por la venta de cabritos para satisfacer las demandas en el mercado; la comercialización de este producto está caracterizada por la intervención formal del intermediario, quien retiene la mayor parte del excedente, por lo que los productores cada vez invierten mayor tiempo en esta actividad y los beneficios recibidos cada vez son menores. Para la mayoría de los campesinos dedicados a la caprinocultura, está es una actividad que ha contribuido en la composición de sus ingresos y han dedicado a ella la mayor parte de su vida, en promedio 8 horas diarias.

### 3 IMPACTOS Y RESULTADOS DEL PRPC

Con base en una investigación de campo para el caso del Ejido San Miguel del Banco (Canchola, 2012), se define que existen diferencias importantes en los proyectos que se propusieron en el PRPC del 2002 y su actualización en el 2007, además de que solamente fueron aprobados por el Consejo Estatal para el Desarrollo Rural Sustentable en el periodo 2002-2010 dos proyectos, uno para la reforestación de 150 hectáreas con nopal rastrero (*Opuntia sp.*), y otro para favorecer la

**Tabla 1. Comparativo de los proyectos de los PRPC's para el Ejido San Miguel del Banco**

PRPC	Diciembre del 2002	Noviembre del 2007
Proyectos propuestos	Producción de flor para corte (Clavel, gladiolo, girasol, crisantemo, cempasúchil, y mano de León)	
	Explotación integral de la planta de maguey	
	Producción de nopal para tuna	
	Fabricación de escobas y trapeadores	
	Taller de costura	
	Explotación de cabras semi-estabuladas	
	Adquisición de vaquillas para producción	Explotación de cabras semi-estabuladas
	Reforestación de 150 hectáreas con nopal rastrero ( <i>Opuntia sp.</i> )	Adquisición de vaquillas para producción
	Elaboración del proyecto de biodiversidad (protección a los perritos)	Reforestación de 150 hectáreas con

	llaneros)	nopal rastrero ( <i>Opuntia sp.</i> )
	Rehabilitación de viviendas	Elaboración del proyecto de biodiversidad (protección a los perritos llaneros)
	Rehabilitación de tomas domiciliarias de agua potable	Rehabilitación de viviendas
	Construcción de rehabilitación de plazas comunitarias	Rehabilitación de tomas domiciliarias de agua potable
		Construcción de rehabilitación de plazas comunitarias
		Reforestación con especies nativas
		Rehabilitación de agostaderos
	Habilitación de áreas deportivas en todas las comunidades de la microcuenca	Servicios ambientales
	Desasolve de presas	Construcción de bordo de abrevadero
	Construcción presas filtrantes de gaviones	
	Programa de mejoramiento genético de los rebaños	
	Adquisición de maquinaria agrícola	
	Establecimiento de parcelas demostrativas.- siembras de cultivos no tradicionales que promuevan la diversificación productiva	Programa de mejoramiento genético de los rebaños
	Construcción y rehabilitación de corrales	Adquisición de maquinaria agrícola
	Reforestación de cortadillo	Establecimiento de parcelas demostrativas.- siembras de cultivos no tradicionales que promuevan la diversificación productiva
	Construcción de canales de conducción para manejo de escurrimientos	Construcción y rehabilitación de corrales
Plan de financiamiento	2002-2006	2008-2010
Proyectos aprobados	Reforestación de 150 hectáreas con nopal rastrero ( <i>Opuntia sp.</i> )	

Fuente: Elaboración propia con base en los PRPC's

biodiversidad (protección a los perritos llaneros), este último sin asignación de recursos, por lo que finalmente no operó (ver tabla 1).

Considerando que cada uno de los PRPC fue elaborado por diferente técnico, lo anterior permite inferir que buena parte de los resultados que se obtienen al definir los proyectos y propuestas, son producto de los intereses o áreas de especialización del técnico responsable de su elaboración.

Para el periodo que se señala, los productores únicamente recibieron apoyo de los programas de PROCAMPO, el señalado para la reforestación de nopal rastrero, un proyecto para la plantación de maguey y el apoyo que otorga el Municipio de Saltillo para el barbecho de las parcelas. El proyecto de la compra de vaquillas. Según se señala por parte de los productores, pudo haberse aprobado, sin embargo no hubo seguimiento por parte del prestador de servicios profesionales (PSP) encargado del seguimiento.

En el caso del proyecto de reforestación de nopal rastrero los objetivos de este proyecto fueron:

- Disminuir los índices de pobreza y marginación en áreas forestales.
- Generar desarrollo y expansión económica a partir de la valoración, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos.
- Impulsar la planeación y organización forestal, incrementar la producción y productividad de los recursos forestales, su conservación y restauración.
- Beneficiar directamente a 20 personas del ejido.
- Reforestar 150 hectáreas con nopal rastrero (*Opuntia sp.*).

Los beneficios serían a largo plazo en la recuperación de su cubierta vegetal y con ello una disminución de áreas o suelos erosionados. Además cabe hacer mención que los beneficiarios al realizar estos trabajos de conservación y restauración contarán con un apoyo de \$960.83/ha. Como se señaló este proyecto fue el único que operó de los que se propusieron en el PRPC.

En el ejido San Miguel del Banco se trabaja una superficie de 1,035 ha destinadas al cultivo del maíz, y en menor cantidad trigo y frijol. Los ejidatarios recibieron con mucho interés el Programa de Barbecho propuesto en 2011 por la Presidencia Municipal de Saltillo.

El Programa de Barbecho es exclusivo del Gobierno Municipal de Saltillo, el cual es coordinado por la Dirección de Desarrollo Rural. El gobierno municipal apoya con el barbecho de dos hectáreas por cada una que pagan los productores, con el objetivo de crear un círculo virtuoso que incluya a los tractoristas, productores y las familias de ambos. Con estas labores lo que se busca es anticiparse a la temporada de lluvias oxigenando el suelo a través de barbecho. En este rubro, el 66% del costo del programa es cubierto por el gobierno municipal y 34% restante recae en los campesinos dueños de las tierras.<sup>20</sup>

Gracias al programa de barbecho se ha logrado beneficiar a los grupos de ejidatarios dueños de tractores, los cuales reciben un pago a cuenta de la renta de su tractor, considerando a aquellos tractoristas que están registrados en la Dirección de Desarrollo Rural. Antes los productores tenían que pagar la renta del tractor y se quedaba sin la mitad del PROCAMPO porque ya lo debían

Las bases que deben cumplir los productores para poder acceder a este programa son:

1. Ser productor del área rural y estar integrados en un comité por ejido para la ejecución del programa.
2. Acreditar la propiedad del terreno parcelario a trabajar.

---

<sup>20</sup> *Anuncian programa municipal de barbecho.* El Heraldo de Saltillo. 16/03/11

3. Presentar identificación oficial con fotografía por beneficiario.
4. El número máximo de apoyo serán dos hectáreas, con la obligación del productor de trabajar una hectárea más; de tal manera que en conjunto sumen tres hectáreas. (en casos especiales se apoyará de manera equivalente en proporción de 2:1).
5. El tractorista que maquilará será de preferencia del municipio de Saltillo, Coahuila, y el pago correspondiente al productor, será de manera convenida entre el productor y el tractorista; y el pago entre el tractorista y el municipio será previo al registro del tractorista ante la dirección, relación de beneficiarios, con copias de credencial de elector, comprobante de parcela, supervisión en campo por el extensionista de la Dirección de Desarrollo Rural.
6. Los montos de apoyo serán de \$600.00 pesos por hectárea, donde la aportación del productor será al principio de la obra, y el pago del municipio será posterior al término de la supervisión del barbecho, considerando los tiempos para el trámite del recurso ante la tesorería municipal. No existen anticipos para los tractoristas por parte del municipio.

Gracias a este programa los productores del ejido de San Miguel del Banco fueron beneficiados, ya que al momento que le llega el apoyo de PROCAMPO. el monto que se ahorran con el programa de barbecho lo utilizan para sembrar otro tipo de cultivo; por ejemplo, trigo en invierno o para cubrir gastos de alimentación del hogar e inclusive para los gastos de educación de los hijos de los ejidatarios. En años anteriores el apoyo de PROCAMPO, lo utilizaban exclusivamente para hacer el pago de la renta del tractor para realizar el barbecho de sus parcelas, para poder sembrar sus cultivos a tiempo.

Cabe mencionar que antes de que entrara en acción el Programa de Barbecho se realizó una asamblea para explicarles la forma de funcionamiento para la operación del programa, en la cual se eligió a una persona para llevar el registro de las hectáreas barbechadas, y ella a su vez, la entregara al final del periodo del barbecho en las oficinas del Desarrollo Rural del Municipio, quienes realizarán los trámites para hacer el pago al grupo del tractor.

Los precios que cobran los tractoristas por la hectárea que le toca pagar al productor oscilan entre los \$500.00 y \$600.00, por lo que la mayoría de los ejidatarios contratan al tractorista que cobra menos y que a veces los espera a que cobren el PROCAMPO. Pero cabe mencionar que el pago de esa hectárea, el tractorista lo utiliza principalmente para comprar el combustible para su tractor para seguir trabajando.

Los que realizan los trabajos del barbecho son los mismos integrantes del grupo dueño del tractor o el hijo de algunos de ellos, quien recibe un pago de \$200.00 por cada día de trabajo. En relación a los que son socios del tractor, ellos realizan las labores de sus parcelas con las ganancias que obtienen con la maquila de su tractor. Al momento que reciben el monto por parte del Municipio lo utilizan principalmente para el mantenimiento del tractor, para que esté en buenas condiciones para el próximo ciclo y para hacer los pagos del tractor si es que lo obtuvieron con crédito.

El proyecto de plantación de maguey es parte de un programa promovido por la CONAFOR que pretende evitar la erosión de las parcelas agrícolas y aprovechar mejor los escurrimientos. En las parcelas agrícolas se realizaron bordos a nivel y sobre estos se plantaron los magueyes. Con este proyecto se plantaron 100 hectáreas de maguey en este ejido y solamente una hectárea por ejidatario. A los productores se les apoyó con las labores para la realización de los bordos con los tractores que están inscritos en el Programa Municipal de Barbecho y se les otorgó un apoyo económico de \$1700 por hectárea forestada. La plantación del maguey la realizó el dueño de la parcela y la planta provino del mismo ejido porque cuentan con grandes cantidades en los solares.

El 80% de los ejidatarios participaron solamente con una hectárea para sembrar el maguey, como lo establecían las reglas de operación, sin embargo al momento del registro no se completaban el total de hectáreas que manejaba el programa para ese ejido y es por eso que otros ejidatarios se anotaron con dos y hasta tres hectáreas.

Por otra parte, los ejidatarios señalan que ninguna persona acude a su ejido a darles información de los apoyos que existen, ya que si ellos quieren solicitar dicho apoyo primeramente forman el grupo y posteriormente formulan la solicitud con ayuda del comisariado ejidal, la cual es llevada personalmente por los interesados a la dependencia. Entre los principales problemas a los que se enfrentan los ejidatarios, es que al momento de llevar la solicitud no saben a qué dependencia acudir y en muchas ocasiones la ventanilla de colecta de solicitudes ya está cerrada. Pero cuando son aceptados, en la dependencia les asignan un técnico PSP para que les formule el proyecto y los tenga al tanto del avance y fin del mismo.

Uno de los principales problemas sociales de la región es la migración, fenómeno que es determinado por la falta de oportunidades, la marginación y la exclusión que afecta a los grupos campesinos, generando el envejecimiento de los productores, en cierta forma, la falta de proyectos productivos no favorece el arraigo de los jóvenes ni tampoco impacta en el mejoramiento del nivel de vida de las familias.

#### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de una región, un territorio o una comunidad en su sentido más amplio, no está predeterminado, y constituye un proceso que tiene como propósito fundamental el activar las potencialidades locales para mejorar la calidad de vida, en un acto transformador de una realidad. Hoy, se reconoce que buena parte de su instrumentación exitosa esta en *las capacidades locales*, mismas que pueden ser creadas o mejoradas, con lo que se pueden estimular los factores clave de un proceso endógeno, como lo es la elaboración de un PRPC. En el nuevo contexto económico y competitivo de la globalización, adquieren mayor importancia los factores inmateriales como fuentes de ventaja territorial: los referidos al llamado *capital social* entendido como la red de relaciones que liga a sujetos individuales y colectivos, que puede alimentar la cooperación y la confianza que se expresa bajo formas particulares en la cultura local, en factores como la capacidad emprendedora, de liderazgo, de gestión, innovación, saberes, etc.

Sin embargo, en la instrumentación de procesos de desarrollo, aquellos que buscan mejorar la calidad de vida, acabar con la exclusión, incentivar un diálogo de saberes para innovar en la producción, intervienen otras variables y prácticas sociales que definen el curso de los mismos. De entrada, es menester para que se detone un proceso de desarrollo, de la existencia de *elementos catalizadores* (los agentes externos) que permitan conducir el proceso a un *punto de no retorno* (transformación) en cuanto al progreso social de una colectividad: la llamada intervención, un concepto complejo con variadas interpretaciones discursivas, que podemos entender como la implicación del otro en la vida cotidiana, para construir un nuevo orden, este papel lo juegan los prestadores de servicios profesionales.

Para Foucault (1992) el *ver al otro*, implica un efecto de poder sobre éste, a construir diferencias, lo que ha llevado a elaborar infinidad de caminos en la instrumentación de los procesos de desarrollo desde su arranque; pues siguiendo a Foucault, este efecto instauro diferencias, divisiones y dominaciones, todas de tipo simbólico, lo que lleva a construir una amplia gama de relaciones entre los actores involucrados.

Más allá de interrogar qué es la intervención, interesa definir qué se hace con ella, y como se instrumenta, pues conlleva *un poder que construye*, y *un poder que se ejerce* desde ella. La revisión de este concepto, lleva a una



interpretación desde diferentes ángulos y que su conocimiento se consuma en el terreno de la práctica, de la acción, donde se construyen las posibilidades reales, donde se producen los acontecimientos, donde es posible revisar lo viejo para construir lo nuevo, donde el estudio del pasado explica la construcción de sentidos. La dinámica de interlocución entre agentes externos y campesinos es una fase fundamental de la intervención o de la construcción conjunta del desarrollo rural. Es posible inferir, que los técnicos responsables de la elaboración de los PRPC's adolecen de los conocimientos, habilidades y competencias para una interlocución que operativamente conduzca a una gestión territorial, que promueva la participación, el empoderamiento, la autogestión y como resultado un desarrollo rural vigoroso y sustentable como se pregona. A esto, habrá de añadirse que las políticas del sexenio 2006-2012, dejaron de lado como prioridad, la elaboración y seguimiento de los PRPC's y al menos, en las Reglas de Operación 2013, no se contempla su importancia, aunado a que se le ha restado fuerza a los Consejos Municipales de Desarrollo Rural Sustentable.

Es importante señalar que uno de los objetivos de la estrategia de microcuencas, lo representa la reconversión productiva con criterios sustentables, situación que no se favoreció con los resultados obtenidos en la aplicación del PRPC.

La sobrevivencia del hombre está íntimamente ligada a los recursos naturales. El aprovechamiento que a través del tiempo ha ido haciendo de ellos, ha ocasionado cambios, los que se ven reflejados en el estado actual de los ecosistemas. Partiendo de la premisa de que las características y procesos que ocurren en las microcuencas se definen en gran medida por los factores ambientales presentes, se considera una estrategia acertada la planificación del territorio como punto de partida para su gestión.

Las teorías para interpretar la relación de la sociedad con la naturaleza han cambiado de las teorías que consideraban el desarrollo progresivo de la sociedad con la creación de tecnología para explotar los recursos naturales y la manifestación del dominio del capital sobre la naturaleza, hacia las teorías alternativas del desarrollo sustentable que promueven entre los distintos grupos sociales la búsqueda de restaurar una relación de equilibrio con la naturaleza.

Sólo si la población organizada se expresa territorialmente, precisando prioridades de proyectos de infraestructura social y conservación y manejo sustentable del entorno en el marco de un plan de desarrollo con anterioridad, se puede ser partícipe de la gestión de su territorio. Como lo es, en su concepción, la estrategia del Plan Nacional de Microcuencas, misma que debiese ser retomada y relanzada como componente fundamental de las políticas de desarrollo rural sustentable, derivadas de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable y el Programa Especial Concurrente.

Es importante considerar también, que las acciones de rehabilitación ambiental requieren de tiempo para tener resultados significativos, por lo que el seguimiento y la visión de largo plazo de los proyectos es un factor fundamental para el éxito de los mismos.

De los proyectos que se elaboraron dentro del PRPC y exclusivamente para el ejido de San Miguel del Banco, solamente uno de ellos se llevó a cabo y los restantes no fueron aprobados. Esto se debió en cierto modo a la falta de organización y comunicación entre los órganos representativos del ejido y los PSP's y también a los cambios en las políticas federales y estatales; como en las prioridades y los recursos públicos disponibles.

Los planes rectores juegan un papel muy importante en la promoción del desarrollo rural, ya que se realizan talleres de auto-diagnóstico con la intervención de los técnicos, en donde los productores analizan y exponen su problemática en relación a su producción y posteriormente definen las posibles estrategias o proyectos de desarrollo para su ejido. Pero el problema que existe entre los PRPC es la discontinuidad entre ellos, porque no existe un seguimiento constante entre un plan y otro; entre la elaboración del plan y su actualización repercutió en que no se elaboraran correctamente los proyectos, ya que en el caso de la experiencia analizada, ambos

técnicos proponen distintas propuestas y alternativas de proyectos, de los cuales la mayoría no fueron aprobados, por lo tanto no hubo ningún cambio en el ejido derivado de la elaboración del PRPC.

Para un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales se debe lograr la coordinación entre los actores implicados en el proceso de intervención comunitaria, para que con base en las necesidades sentidas de los habitantes, se generen propuestas de manejo integrales y reales, enfocadas al mejoramiento de su calidad de vida y a la conservación de los recursos.

La combinación de propuestas de gestión territorial con bases sustentables y el aprendizaje social con la práctica de ejecución de proyectos, la concertación entre los diferentes actores del desarrollo, el diálogo entre conocimiento científico y saberes locales, el fortalecimiento institucional y la transformación productiva en curso, deben ser los componentes del Desarrollo Territorial Rural.

Esta complejidad de visiones, intereses y escenarios, hace que el Desarrollo Territorial Rural no sea un nuevo paquete de transferencia, sino un proceso socialmente construido donde los actores concretos de escenarios específicos tengan la capacidad de desarrollar sus propias políticas de desarrollo de manera independiente y autogestiva.

Con el Plan Nacional de Microcuencas se impulsó de manera congruente el desarrollo local, bajo un enfoque territorial a través de un proceso participativo basado en la planeación, gestión y acción de los propios habitantes de las poblaciones localizadas en las microcuencas, conforme lo dispuesto por la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, sin embargo el objetivo final de una estrategia de política pública como lo fue la elaboración de PRPC's, debe ser generar un actor colectivo con capacidades políticas, metodológicas y técnicas que nos permitan diseñar un desarrollo endógeno basado en sus propias capacidades y conocimientos, lo cual en cierta forma no pudo lograrse, en cierto modo por falta de seguimiento. Los programas federales para el desarrollo conforman una serie de instrumentos económicos que inducen una o varias actividades productivas, pero difícilmente constituyen herramientas para fomentar la acción colectiva a nivel local, en proyectos de mediano y largo plazo. Además de que a nivel estatal y municipal se carece de atribuciones precisas para la planeación territorial del desarrollo rural. En el caso del Plan Estatal de Desarrollo 2011-2017 no se contempla ninguna estrategia de desarrollo rural territorial

Es importante que los esfuerzos emprendidos al nivel de las microcuencas puedan convertirse en políticas públicas regionales, cambiando el carácter de la intervención pública de asistencialista y paternalista, dispersa e improductiva, a una participativa y autogestiva; haciendo corresponsables en la planificación, ejecución y evaluación a los diferentes actores locales. Consecuentemente, el desarrollo territorial generará una relación que favorecerá el fortalecimiento institucional y favorecerá la transformación productiva de los sistemas de producción y enfrentar nuevos retos que condicionan el desarrollo de las actividades productivas rurales como lo es el cambio climático y la crisis alimentaria.

Se requiere impulsar de nueva cuenta, una estrategia como lo fue el Programa Nacional de Microcuencas, que opere bajo la lógica discursiva con que fue creado, partiendo de la participación social, asegurándose como un componente fundamental el seguimiento operativo del mismo, la evaluación y el monitoreo. Considerando de manera fundamental, que se requiere también de un importante esfuerzo formativo previo en cuanto a las capacidades y habilidades de los técnicos para conducir los procesos de planeación participativa, prospección, estudio del territorio y la integración de propuestas que contemplen no sólo los aspectos económicos y sociales, sino también aquellas que favorezcan una atención adecuada a los problemas ambientales y la conservación y restauración de los ecosistemas bajo las premisas necesarias de adaptación y mitigación de los efectos del

cambio climático. Es importante considerar, que el diseño de las propuestas de gestión y desarrollo territorial, sólo serán efectivamente viables con la participación de un equipo técnico interdisciplinario.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin la participación y disposición de los campesinos de la Microcuenca Guadalupe Victoria, especialmente del Ejido San Miguel del Banco.

El presente proyecto forma parte de los trabajos del Cuerpo Académico UAAAN-CA-19 *Desarrollo Rural Sustentable y Procesos Sociales*, dentro del proyecto: “Análisis de las Políticas Públicas para el Desarrollo Rural Sustentable en la Microcuenca Guadalupe Victoria, Municipio de Saltillo, Coahuila” realizado con recursos del Programa de Mejoramiento del Profesorado, Fortalecimiento de Cuerpos Académicos 2012 (IDCA 1053).

### REFERENCIAS

- Benito, Nemesio, 2007. *Actualización del (PRPC) Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca Guadalupe Victoria, Municipio de Saltillo, Coahuila.*
- Canchola, Rigoberto. 2012. *Gestión de programas gubernamentales para la producción. Ejido San Miguel del Banco, municipio de Saltillo.* Tesis de Ingeniero Agrónomo en Desarrollo Rural-UAAAN, 2012.
- Cotler, Helena. 2010. *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización.* INE, México.**
- Cotler H. y G. Caire. 2009. *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México.* Instituto Nacional de Ecología-WWF, México, 380p.
- Foucault, Michel. 1992. *Microfísica del Poder.* La Piqueta, Madrid.
- Gobierno del estado de Coahuila. 2012. *Plan estatal de desarrollo 2011-2017.* <http://www.e-pages.dk/coahuilagobmx/113/7>
- Ovalle, O., 2002. *Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca Guadalupe Victoria, Municipio de Saltillo, Coahuila.*
- SAGARPA, 2005. *Hacia una nueva sociedad rural.* FCE, SAGARPA, México.  
(COLECCIÓN EDITORIAL DEL GOBIERNO DEL CAMBIO)
- SAGARPA, 2002. *Programa Nacional de Microcuencas.* Fideicomiso de Riesgo Compartido FIRCO,

# GESTIÓN PARTICIPATIVA EN LA CUENCA DEL RÍO VALLES, ORIENTE DE MÉXICO

Hugo Ferney LEONEL<sup>a</sup>, Miguel AGUILAR ROBLEDO<sup>b</sup>, Pedro MEDELLÍN MILÁN<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Universidad de Nariño-Colombia, [hleonel2001@gmail.com](mailto:hleonel2001@gmail.com), <sup>b</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí-México, [aguilarm@uaslp.mx](mailto:aguilarm@uaslp.mx), <sup>c</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí –México, [pmm@uaslp.mx](mailto:pmm@uaslp.mx).

## RESUMEN

En México, el tema de la participación toma cada vez mayor importancia en la gestión de cuencas hidrográficas. Impulsada por la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente y la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental. A pesar de la inclusión del tema de la participación en la legislación y políticas de desarrollo regional, se dejan de lado formas específicas de participación para la resolución de los conflictos o problemas ambientales. En este sentido, esta investigación representa una mirada analítica y comprensiva de los procesos participativos desde una visión multidisciplinaria, a través, de la combinación de trabajo de gabinete y de campo, que incluyó la revisión de diversas fuentes secundarias, la recuperación de documentos históricos y la aplicación de encuestas y entrevistas semi-estructuradas, a partir de un estudio de caso, en la cuenca del Río Valles, localizada al oriente de México; con el propósito de determinar los tipos y niveles de participación en los procesos de gestión dados en esta cuenca.

Esta investigación, muestra que en la gestión de las cuencas hidrográficas de México, la participación no sólo está confinada en los comités o consejos de cuencas; sino que, además, existen otros espacios o instancias de participación (comunitaria, pública, social y ciudadana) que, al ser fortalecidos pueden llegar a contribuir a disminuir los conflictos sociales y ambientales que se presentan en las cuencas hidrográficas. Se pudo determinar que los niveles de participación tienden a ser nulos-bajos, que pueden ser limitados por la pérdida de credibilidad en las instituciones gubernamentales, cambio permanente de funcionarios, falta de continuidad de proyectos y programas, y su formulación sin participación comunitaria, así como una deficiente e insuficiente política pública ambiental.

**Palabras clave:** cuencas hidrográficas, gestión de cuencas, Río Valles, participación, San Luis Potosí, tipología de participación.

## 1 INTRODUCCIÓN

Participación, es una palabra muy utilizada tanto por las ciencias sociales, como por las ciencias naturales, lo cual no quiere decir, que se tenga una claridad de su significado. Desde el marco de la normativa se incluye y se apela la importancia de la participación, pero aún hay dudas en la forma de lograrla, “o dejar en claro lo que se quiere obtener con el proceso” (Gregory, 2000: 179–180; Dobbs y Moore, 2002:158); aún siguen surgiendo dudas en ¿el para qué participar?, ¿cómo participar, ¿dónde? y en ¿quiénes deben participar?, ya que “no toda participación *per se*, es buena” (Dubois, 2008:3).

Etimológicamente, la palabra participación significa “tomar parte” de algo, ya que procede del latín *participare*, compuesta de la raíz *pars* (parte) y del derivado *capere* (tomar), pero éste es un término que se caracteriza por ser muy amplio y a la vez equívoco, ambiguo, relativo y con fuertes connotaciones ideológicas (Sánchez y Del Pino, 2008:37). Participar, es definido como un acto social. En principio, significa "tomar parte" de una organización que reúne a más de una sola persona; pero también significa "compartir" algo con alguien o, por lo menos, hacer saber a otros alguna noticia (Merino, 2001:9).

Leonel, Aguilar y Hernández (2010: 269), plantean que la participación para la gestión de cuencas tiene que ver con la construcción social de una realidad dada que conlleva a acciones de diálogos, decisiones y consensos; en tanto, toma las siguientes características:

- Es un Proceso, es decir, no puede ser resultado de acciones puntuales o coyunturales; sino por el contrario, obedecer a diferentes acciones que llevan al logro de los objetivos por el cual se debe participar; además, de permanecer en el tiempo.
- Debe ser un acto voluntario y consciente, lo que implica tener claridad, en el ¿para qué? Se va a participar; es ahí donde juega un papel importante el conocimiento que se tenga del problema a solucionar, así como la experiencia de quien participa.
- Las decisiones que se toman son en conjunto y no de manera individual, en tanto se participa por el interés y bienestar común; lo que significa el respeto por el otro, el fortalecimiento de la comunicación y la redistribución del poder (compartir).
- Debe ser capaz de influir en los tomadores de decisiones.
- Debe ser organizada, planificada, autónoma; y mantener el control de las acciones o decisiones, lo que conlleva a una mayor responsabilidad con el territorio.

En México, el tema de la participación toma cada vez mayor importancia en la gestión de cuencas hidrográficas; es impulsada principalmente por la Ley de Aguas Nacionales, que reglamenta el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente emitida por SEMARNAP en 1997; y la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental, aprobada en 2002.

A pesar de la inclusión del tema de la participación en la legislación y políticas de desarrollo regional promovidas principalmente por el propio Estado, la participación es limitada y con tendencia a delegar la toma de decisiones en los consejos y comités de aguas, promulgados por la Ley de aguas nacionales (Leonel, Aguilar y Hernández, 2010: 267), dejando de lado formas específicas de participación de los individuos para la resolución de los conflictos o problemas

ambientales, como la participación comunitaria, la participación social, la participación pública y la participación ciudadana.

En este sentido, esta investigación representa una mirada analítica y comprensiva de los procesos participativos desde una visión multidisciplinaria que combina o articula el conocimiento de diferentes disciplinas a partir de un estudio de caso, en la cuenca del Río Valles, localizada al oriente de México y administrativamente manejada por los estados de San Luis Potosí y Tamaulipas; con el propósito de analizar los factores y los niveles de participación dados en esta unidad territorial; es por ello, que se busca dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los factores que influyen en la participación para la gestión de las cuencas hidrográficas, en particular, en la cuenca del Río Valles?

## **2 METODOLOGÍA**

Esta investigación substancia un estudio de caso desde una visión multidisciplinaria, a partir de la utilización de estrategias metodológicas de diferentes disciplinas y la combinación de trabajo de gabinete y de campo.

### **2.1 LOCALIZACIÓN**

La cuenca hidrográfica del Río Valles, se encuentra localizada en el oriente de México, en la región hidrológica 26 del río Pánuco; dentro de los límites administrativos de los municipios de Tula, Ocampo, Nuevo Morelos y Antiguo Morelos del Estado de Tamaulipas; y Ciudad del Maíz, Tamuín, Tanlajas, Tancahuítz de Santos, Aquismón, El Naranjo y Ciudad Valles del Estado de San Luis Potosí.

### **2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El trabajo de gabinete consistió en la aplicación de encuestas estructuradas y semi-estructuradas, que permitieron identificar los actores y la forma como han participado en la gobernanza ambiental de la cuenca. Así mismo, los recorridos de campo, contribuyeron a corroborar la información obtenida en los acervos históricos.

Para determinar la tipología de la participación, se hizo la revisión de un sinnúmero de documentos, artículos de revistas nacionales e internacionales, capítulos de textos y normativa publicada en el campo de la participación y la gestión de cuencas hidrográficas. Con base en él, se formuló una propuesta conceptual de tipología de la participación, conformada por cuatro formas de participación: comunitaria, social, pública y ciudadana. Con frecuencia, estas cuatro formas se confunden y aún no se distinguen con claridad en la literatura. Por otra parte, la información contribuyó a la discusión de los resultados obtenidos.

Para evaluar los factores que afectan la participación social en la gestión de cuencas hidrográficas se diseñó una encuesta con 40 preguntas, las cuales, después del premuestreo conformado por la aplicación de 10 encuestas, se redujeron a 39 y se distribuyeron en 6 categorías: Datos generales, 7 preguntas; formación, empleo y economía, 8 preguntas; problemática o conflictos ambientales, 3

preguntas; participación y organización social, 12 preguntas; acceso a la información, 5 preguntas y derecho a elegir, 4 preguntas

Para determinar los niveles de participación en la cuenca, se empleó la escala propuesta por Geilfus (1997), la cual se modificó para este estudio (Figura 1). Con base en cada característica de las escalas (explicadas después de la figura) se determinaron el o los niveles en que se encuentra la participación en la cuenca el Río Valles.

“Peldaños” de la “escalera” propuesta por Geilfus (1997):

- i. Participación pasiva (“pasividad”): las personas participan cuando se les informa; no tienen ninguna incidencia en las decisiones y la implementación de un proyecto. Aquí predomina la verticalidad; la participación es “ordenada” desde arriba, en función de los deseos e intereses de los “de arriba”; es una “participación” plenamente “instrumental” a los intereses de las élites.
- ii. Suministro de información: las personas participan respondiendo a encuestas; no tienen posibilidad de influir ni siquiera en el uso que se va a dar a la información.
- iii. Participación por consulta: las personas son consultadas por agentes externos que escuchan su punto de vista; esto sin tener incidencia sobre las decisiones que se tomarán a raíz de dichas consultas.
- iv. Participación por incentivos: las personas participan proveyendo principalmente trabajo u otros recursos (materiales, sociales, capacitación); el proyecto requiere de la participación de las personas; sin embargo, éstas, no tienen incidencia directa en las decisiones.
- v. Participación funcional: las personas participan formando grupos de trabajo para responder a objetivos predeterminados por un proyecto. No tienen incidencia sobre su formulación, pero se les toma en cuenta en el monitoreo y el ajuste de actividades.
- vi. Participación interactiva: los grupos locales organizados participan en la formulación, implementación y evaluación de un proyecto; esto implica procesos de enseñanza-aprendizaje sistemáticos y estructurados, y la toma de control en forma progresiva de un proyecto.
- vii. Auto-desarrollo: los grupos locales organizados toman iniciativas sin esperar intervenciones externas; las intervenciones se hacen en forma de asesoría y como socios. Prevalece la “horizontalidad” en las relaciones entre los participantes, quienes tienen los mismos derechos y obligaciones. El autodesarrollo ejemplifica el empoderamiento social porque son los grupos organizados los que formulan, gestionan, ejecutan y evalúan sus proyectos.

Los siete niveles que considera Geilfus (1997) se articularon a los indicadores construidos para la encuesta para las tres variables que caracterizan la gobernanza ambiental (información, tipos de participación, y acceso a la justicia y administración), así como a los tipos de participación descritos en el marco teórico de esta investigación (comunitaria, social, pública y ciudadana); sin embargo, después de la realización del análisis estadístico para la determinación de la significancia estadística, se hizo necesario reclasificar los siete niveles en tres (Figura 1), lo que facilitó el análisis del nivel de participación en la solución de los problemas ambientales de la cuenca del río Valles.

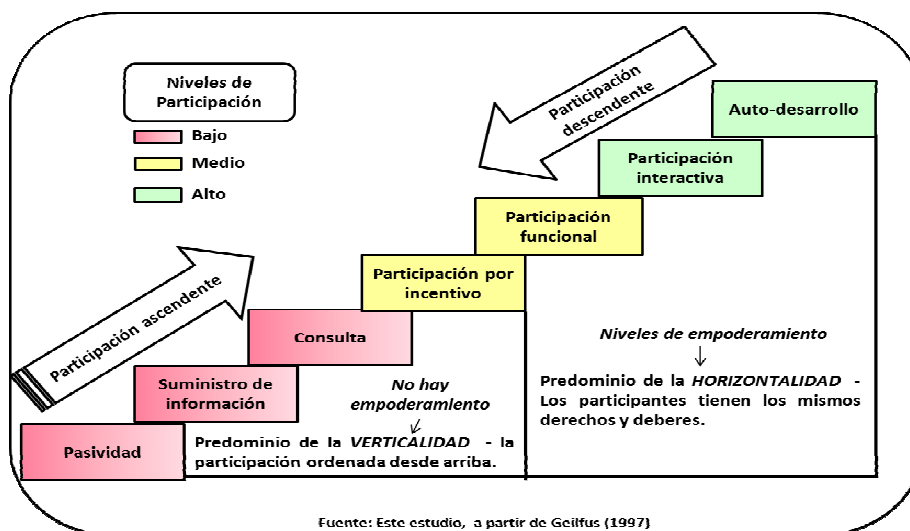


Figura 1. La “escalera” de la participación

El nivel de participación (Figura 1), se caracterizó como “Nulo-bajo”, “Medio” y “Alto”, teniendo en cuenta las siguientes características:

- Participación de nivel “Nulo-Bajo”. Aquí se incluyeron los encuestados que manifestaron no participar, así como los que solamente asistían a las reuniones o simplemente eran informados; es decir, estaban en los peldaños de “pasividad”, “suministro de información” y “participación por consulta”.
- Participación de nivel “Medio”. Aquí se incluyeron a quienes colaboraron con dinero, o realizaron trabajos a cambio de ciertos incentivos, pero no tuvieron incidencia directa en las decisiones; es decir, estuvieron en los peldaños “participación por incentivos” y “participación funcional”.
- Participación de nivel “Alto”. Aquí se incluyeron a todos los individuos que tuvieron incidencia directa en las decisiones, ocupaban un cargo directivo, solicitaban información y hacían denuncias; es decir, los que estaban en los peldaños más altos de la escalera: “participación interactiva” y “auto-desarrollo”.

Para la aplicación de la encuesta se utilizó un muestreo simple, con un error de muestreo del 10% y una probabilidad del 95%. Para el total de viviendas (36,960) reportadas por Santacruz (2007), se aplicó la fórmula que se describe a continuación y se obtuvo una muestra de 96 encuestas.

$$\text{Fórmula aplicada: } n = (N \times z^2 \times p \times q) / \{d^2 \times (N-1) \times z^2 \times p \times q\}$$

Dónde: n= Tamaño de muestra

N= Tamaño de la población: 36,960

Z = Nivel de confianza para el 95%: 1.96

P= probabilidad de éxito: 0.5

q= Probabilidad de fracaso: 0.5

d= Error máximo admisible: 10%



Las 96 encuestas de la muestra se distribuyeron a lo largo de toda la cuenca; 61 fueron del sector rural y 31 de las cabeceras municipales. Para la selección de los encuestados se consideraron los siguientes criterios de inclusión: Las personas a entrevistar debían tener más de 18 años de edad; se seleccionaron solamente aquellas localidades que tenían más de 10 viviendas y facilidades de acceso; se incluyeron encuestas en las cabeceras municipales de Ciudad Valles, El Naranjo y Nuevo Morelos; se aplicaron encuestas en la parte alta, media y baja de la cuenca.

Cada uno de los factores o variables se categorizaron y fueron comprobadas a partir de pruebas estadísticas como el Chi-cuadrado de Pearson, con ayuda del programa *SPSS* v. 17. Para determinar que no hubo equivocación en la aceptación o rechazo de la hipótesis alterna se aplicó la prueba de asociación lineal por lineal, y en algunos casos, la prueba de verosimilitud.

### **3 RESULTADOS**

#### **3.1 COMITÉ DE CUENCA DEL RÍO VALLES**

A partir de la preocupación de la sociedad civil ante la problemática del recurso hídrico de la cuenca; por las descargas de desechos industriales y crecimiento poblacional; y a las fuertes presiones de los grupos ecologistas “Viva la Huasteca” y Proyecto Verde”, y del doctor Gerardo Medellín Milán, de la DAPA, amparados en la Ley de Aguas Nacionales, artículo 14 bis, se impulsó la creación del Comité de Cuenca del Río Valles, el cual fue conformado el 10 de diciembre de 2002. Según el acta constitutiva, los objetivos del comité se orientan a: promover el mejoramiento de la calidad del agua en la cuenca; propiciar su saneamiento; promover el ordenamiento y regulación de los usos del agua; mejorar su eficiencia; promover el manejo y gestión integral de la cuenca; contribuir al mejoramiento de la educación y la cultura de la sociedad en relación a la importancia del agua y de los recursos naturales; y participar en la solución de conflictos asociados a la competencia entre usos y usuarios del agua y sus bienes inherentes en la cuenca

El comité de la cuenca del Río Valles está conformado como se muestra en la Figura 2. En la estructura del comité el mayor peso en la toma de las decisiones, la sigue teniendo el Estado; lo cual, es el resultado de la estructura propuesta en la Ley de Aguas Nacionales; marginándose de esta forma la participación de la sociedad, en especial la comunitaria y de la construcción de ciudadanía.

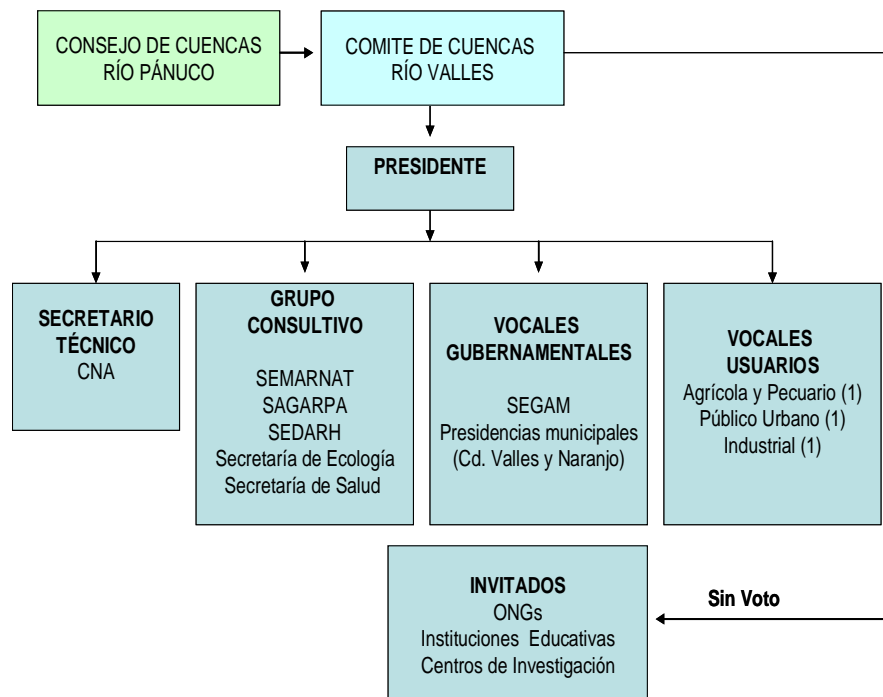


Figura 2. Organigrama del Comité de la Cuenca del Río Valles, oriente de México.

En la Figura 2, se puede visualizar que el mayor peso de los integrantes del comité, lo tiene el gobierno; quien preside y convoca; y hace parte de la secretaría técnica y consultiva; así mismo, los intereses de los usuarios de agua de las cabeceras municipales, recae en los operadores de agua potable y saneamiento (DAPAS y SINAPAS), que son organismos descentralizados de los ayuntamientos y finalmente en un número reducido, el grupo de representantes de los usuarios de aguas, a través de las asambleas de productores asociados.

Los integrantes, del comité de la cuenca del Río Valles, han sido los mismos desde su creación; los únicos que han cambiado, son los presidentes. Lo cual puede contribuir con el seguimiento y conocimientos de las acciones adelantadas; pero a su vez, se puede convertir en un espacio donde prevalece el monopolio y la voluntad e interés del político de turno. Se puede evidenciar que la mayoría de las personas pertenecen a instituciones de gobierno, a diferencia de tres, que representan al sector privado (ingenios), y un vocal que representa a los productores agrícolas, demostrándose con ello, desigualdad en el ejercicio de representatividad; pues el peso, lo sigue teniendo el gobierno. Así mismo, se muestra que todos los integrantes son profesionistas, lo cual, puede obedecer a las necesidades de conocimientos especializados y de habilidades específicas para la toma de decisiones y acciones que adelanta el comité.

El Comité de la cuenca del Río Valles (CCRV) se viene reuniendo desde el 2003 hasta el 2011, en un promedio de 3 y 4 veces por año. Sus acciones durante el periodo 2003-2005, se orientaron principalmente a la atención de los problemas de contaminación del agua por las descargas residuales, producto del procesamiento de la caña de azúcar en los ingenios; disminución de la disponibilidad hídrica en época de estiaje (Santacruz, 2007: 313); a diferencia del periodo 2006-2010, donde las acciones se han centrado en: rendir informes sobre las eficiencias de la planta de tratamiento de las aguas residuales de los ingenios, de las cabeceras municipales de El Naranjo y de Ciudad Valles; a la consolidación de boletines de información para dar divulgar las acciones adelantadas al comité; a la formulación de un plan de gestión para la cuenca (Metodología ZOPP); y al seguimiento de los procesos de tecnificación del sistema de riego, entre otras.

El comité de cuencas (CC) depende de la voluntad de los alcaldes, en especial, el de Ciudad de Valles, pues él es el encargado de convocar a reuniones, es por ello, que el cambio de gobiernos locales y autoridades institucionales ha afectado negativamente, en algunas ocasiones, al comité, situación similar a lo sucedido en algunos CC de Costa Rica, por ejemplo en el comité bimunicipal de Aguas Calientes; ya que los nuevos integrantes por lo general no saben del enfoque de cuencas hidrográficas, ni de los roles y funciones de cada miembro en el comité; lo que conduce a que se deban hacer esfuerzos adicionales y se invierta tiempo en la sensibilización y fortalecimiento de actitudes, aptitudes y conocimientos de los actores (Reyes, et al., 2008).

Santacruz (2007) y Palafox (2008) coinciden en afirmar que el modelo de gestión actual en la cuenca del río Valles, no ha dado los resultados esperados, primero que todo, por su visión técnica en la resolución de problemas, la carencia de planificación a largo plazo de las acciones, la influencia directa de la toma de decisiones por parte del Estado y grupos de poder como los cañeros.

Una de las grandes debilidades que se identificaron, es la carencia de una autonomía legal y económica; un órgano auxiliar que depende de la voluntad política del gobernante de turno; un ente, carente de recursos económicos para la puesta en marcha de acciones propuestas en el plan de manejo integral de la cuenca; un órgano excluyente de otros actores de la sociedad, como todos aquellos que no se encuentren registrados en la red de usuarios nacionales del agua; carente de capacitación continuada y de un espacio físico, permanente.

Vale la pena mencionar, el avance que ha tenido el comité de la cuenca del Río Valles, en disminuir los problemas de contaminación y disponibilidad del recurso agua, como lo corrobora el *Boletín informativo* del Comité de Cuencas del Río Valles (Año I, Número I, enero-marzo 2008): 1. Avances en el Sector agrícola: En los 5 últimos años no se han registrado contingencias hidroecológicas en el río; se presenta estabilización del gasto del río en la época de estiaje; establecimiento de 400 has., con riegos presurizados y medición al 80 % de las extracciones por bombeo. 2. Avances en el sector público-urbano: Para el 2005 inversión de 40 MDP en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Ciudad Valles; rehabilitación del sistema lagunar en 2005, para un gasto de 180 lps.; la PTAR del Rastro Municipal de Cd. Valles, disminuyó la DBO de 3500 a 200 mg/lts.; con la PTAR Birmania que tratara 90 lps, se alcanzó el 100% de cobertura de tratamiento en la cabecera municipal de Cd. Valles, alcanzando un 90% de aguas residuales tratadas en la cuenca; así mismo. 3. Avances en el sector industrial: Inversión de 115 millones de pesos por los ingenios en sistemas de tratamiento y reúso; incremento de sitios de monitoreo para la vigilancia de calidad del agua; análisis de la evolución histórica de la calidad del agua en el río; incorporación de la Cuenca del río Valles en la certificación “Cuenca Hidrológica Limpia” del Programa Nacional de Auditoría Ambiental de la PROFEPA. 4. Avances en el área de la educación ambiental: Más de 1500 niños vallenses han recibido pláticas relativas al cuidado y buen uso del agua y otros más ya han sido acreditados como “Inspectores del Agua”.

Sin embargo, el manejo burocrático que se ha dado hasta ahora en el comité de cuencas del río Valles, hace que el 96% de la población que se encuestó, no conozca la existencia del comité, y mucho menos sus funciones; y que a nivel institucional, el comité, sea reconocido sólo por los mandos ejecutivos o representantes de la institución ante el comité. Santacruz (2008) plantea que la Comisión Nacional del Agua-CNA, manifiesta, cuando menos en el papel, por una gestión participativa, pero que en la práctica su actuación, cuando menos en este caso, ha impedido ese tipo de gestión; por otro lado, se concluye que las acciones están encaminadas, bajo una visión urbano-céntrica, a resolver la problemática del principal centro urbano de la cuenca y que no es atendida, la que existe en las pequeñas localidades.

Por otro lado, en el 60% de las entrevistas institucionales, se afirma no conocer las funciones del comité; el 40% que afirma conocerlas, plantean entre ellas: Espacio de interlocución y acuerdos, los seguimientos y cumplimiento de los acuerdos de cada sesión, evitar la contaminación de la cuenca, formulación de propuestas para conservar la cuenca, y la gestión del recurso agua. En las entrevistas institucionales en relación con la consideración de que el comité para la Cuenca del Río Valles, facilita la participación, el 50% afirma que sí, pero que es: De forma limitada y operativamente no se continúa con el plan, por lo cual hay muy poco avance; está representada por los sectores de la sociedad; se ha dado oportunidad de participación a la sociedad civil; están abiertos a propuestas de la gente, para las posibles soluciones de la problemática.

Cabe aclarar que el desconocimiento del comité de la cuenca del Río Valles, y de la apreciación de facilitar la participación, puede obedecer a cuatro razones: 1. Los municipios de Antigua Morelos y el Naranjo están distantes de la sede de las asambleas (Ciudad Valles); 2. Al cambio reciente del gobierno y funcionarios en el momento de la realización de las entrevistas; 3. A que muchos funcionarios presentan interés de trasladarse de Ciudad Valles a la capital (San Luis Potosí), lo que dificulta los canales de comunicación dentro de la misma institución o con las otras instituciones, y finalmente, 4. A la carencia de canales de comunicación adecuados con las características culturales y con las necesidades bio-físicas de la región. Al respecto, el Dr. José Raymundo Cano Tinajero (2010), subdirector técnico del DAPA de Ciudad Valles, plantea en una entrevista que:

...hay un problema de comunicación de origen, la autoridad no respeta cual debe ser su actuación... muchas veces no responde a las necesidades de la gente, sino solamente se formulan propuestas de desarrollo desde el escritorio... En el proceso de gestión las solicitudes dan prioridad, lo que hace más difícil poder trabajar en conjunto con las otras instituciones...

Ante estas dificultades de comunicación y la preocupación por los conflictos ambientales, las instituciones de gobierno con asentamiento en la cuenca del Río Valles y lideradas por la CNA, han adelantado procesos de planificación estratégica. Desde la formulación del plan de ordenamiento en el 2008, con la implementación de metodologías de “talleres participativos” se involucró al sector privado, gubernamental y educativo; sin embargo, en el proceso de ejecución, control y vigilancia del plan, es muy poco lo que se ha logrado.

### **3.2 TIPOLOGÍA Y NIVELES DE PARTICIPACIÓN**

Se pudieron analizar cuatro formas de participación: Comunitaria, social, pública y ciudadana.

En la participación comunitaria, se puede resaltar que de acuerdo con la tenencia de la tierra, el mayor porcentaje (46.7%) son ejidatarios, seguido por los vecinados (34.6%) y finalmente por los poseionarios (19.7%). Los poseionarios tienen tierras dentro del ejido, pero muchos de éstos ya no viven en la cuenca; lo cual, puede obedecer, a las personas que en búsqueda de mejores oportunidades han emigrado a Estados Unidos o a los centros poblados (Ciudad Valles, El Naranjo, Nuevo Morelos, Antigua Morelos, Ciudad Mante, Tampico, y San Luis Potosí, entre otros.) cercanos a la cuenca. La participación en los ejidos ha estado históricamente liderada por los ejidatarios, quienes marginan a los vecinados de la participación en la toma de decisiones del territorio. Los vecinados, por lo general, no son invitados a las asambleas ejidales y en los casos en que sí los son, no tienen voz ni voto en las decisiones que se tomen en éstas.

Se puede mencionar que a nivel ejidal los hombres y las mujeres titulares de derechos ejidales, son los únicos que participan en la toma de decisiones; lo que hace, que éstos, tomen el poder y se empoderen al hacer cumplir sus derechos y obligaciones ejidales; que tomen el control de sus vidas; que logren un reparto más equitativo en el uso y acceso de los recursos y servicios; es decir, que manejen el control en la toma de decisiones y acciones sociales, al particular Sen (2005) citado por Leonel (2011) plantea que “Si el poder significa control, el empoderamiento por tanto, es el proceso de ganar control”; a su vez, puede ser un elemento clave para la construcción de ciudadanía, donde, además, de conocer y al hacer cumplir sus derechos y obligaciones como ejidatarios, se fortalece la participación de sus integrantes (inclusión de actores).

De acuerdo a los niveles de participación y a la tenencia de la tierra, se puede mencionar, que en la cuenca del Río Valles, prima el interés particular de los diferentes actores; a pesar de que se muestre, que en los ejidatarios prima el interés comunitario sobre el interés particular. Para mantener la condición de ejidatario, según la normativa (Ley agraria de 1992), en principio es inducido al margen de la “coacción” u “obligatoriedad”; perdiéndose con ello, la libertad de elegir. Por ejemplo, en el artículo 17, el ejidatario tiene la facultad de designar a quien deba sucederle en sus derechos sobre la parcela; pero quién accede a la categoría de ejidatario solamente puede ser esa persona que él asignó y nadie más de la familia, si fuera el caso; en el artículo 18, sino se hubiese asignado al sucesor, quien lo asigna es el gobierno y no los integrantes de la familia.

En relación con la participación social, se pudo encontrar que en la cuenca del Río Valles, existen cuatro organizaciones de la sociedad civil (Asociación Ecologista "Proyecto Verde" A.C. , Asociación civil “Viva la Huasteca”, Instituto para el Desarrollo de las Huastecas y Centro Huasteco para el Desarrollo Rural) que tienen reconocimiento por la sociedad; quienes, han orientado sus trabajos a la asesoría y capacitación para la formulación y ejecución de proyectos productivos, y los grupos ecológicos que han logrado intervenir en la política pública gracias al trabajo organizado; así mismo, se han dedicado en los últimos años a procesos de educación ambiental, en especial en el sector urbano de ciudad Valles. Las organizaciones sociales (Grupos ecológicos) posiblemente por el reconocimiento social, son invitados por las instituciones de gobierno en la mayoría de sus eventos; así mismo, asisten a las reuniones del comité de cuencas para el Río Valles. De acuerdo al nivel de participación se encuentran en un nivel alto, según la metáfora de la escalera.

La participación pública en la cuenca del Río Valles, está liderada por instituciones Federales, Estatales y municipales, que por un lado, tienen la obligación de fortalecer la participación de la sociedad, a través de la normativa; al formular, planear y promover el desarrollo de políticas públicas; y por el otro, trabajar en conjunto con las otras instituciones de gobierno. A pesar de la normativa contempla la participación de la sociedad, está aún no se ha logrado en la manera que se espera; pues, se evidencian acciones, que conducen a la exclusión de actores; lo cual, puede obedecer a la carencia de personal y a los presupuestos limitados. la participación pública ha tenido avances significativos con la promulgación de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública de los Estados de Tamaulipas y San Luis Potosí, publicadas el 5 de julio de 2007 y el 18 de octubre de 2007, respectivamente, que tiene por objeto: Fomentar la participación de los habitantes en la toma de las decisiones públicas; garantizar el principio democrático e impulsar la cultura de la transparencia y la rendición de cuentas en el ejercicio de las funciones públicas; entre otras.

En el modelo de gestión actual, para el manejo Integral de las cuencas hidrográficas y lideradas por la CONAGUA, se propicia la participación ciudadana, a partir de los consejos de cuencas y sus órganos auxiliares, para el caso de estudio, el comité de cuencas para el Río Valles, fue conformado a partir de denuncias ciudadanas, y movilizaciones lideradas por organizaciones no gubernamentales (Proyecto Verde y Viva la Huasteca); generadas por la preocupación de contaminación y tala de árboles, para el desarrollo de actividades del sector industrial, agrícola y

maderero. La participación ciudadana, a partir del comité de cuencas es ambivalente; por un lado, es incluyente al permitir que las asociaciones identifiquen y escojan sus representantes ante el comité; y es excluyente, al mencionar que los únicos que pueden formar parte del comité son usuarios del agua, dejando a fuera de este comité a muchas otras personas, que a pesar, de ser usuarios de la cuenca (avecindados, algunos ejidatarios) y al no encontrarse registrados en el REPDA, son excluidos. A nivel urbano, los usuarios del agua son representados por los operadores del Agua (DAPA y el SINAPAS), pues los integrantes de los hogares no tienen la posibilidad de elegir o ser elegidos.

De acuerdo con los análisis estadísticos, los resultados muestran que el nivel de participación en la cuenca es independiente del género y del grado de escolaridad; la edad y el nivel de participación en la resolución de los problemas, para una probabilidad del 95%. Salazar y Jaime (2009) en su investigación con poblaciones rurales de Chile, tampoco encontraron relación directa entre la edad y el nivel de participación en la resolución de problemas ambientales, atribuyendo a que en las fases iniciales de la vida los individuos tienden a participar más, mientras que las personas mayores, tienden a una menor participación; sin embargo, para la cuenca, existe una tendencia a que las personas mayores en su afán de sentirse aún útiles con la comunidad, sean las que participen en los consejos locales de agua; sin embargo, no hay que olvidar que también coincide con la forma de tenencia de la tierra, ya que por lo general, las personas mayores son las poseedoras de los títulos ejidales y son precisamente éstos, los encargados de la toma de decisiones del territorio.

Así mismo, no se encontró diferencias significativas con el ingreso, a pesar de que se muestra una tendencia de agrupación numérica en el nivel de participación nulo-bajo, en aquellas personas 93% que tienen los menores ingresos familiares, por debajo de 2 salarios mínimos legales mensuales vigentes; la Red Interamericana para la Democracia-RID (2005:15), plantea que en México, los mayores niveles de participación ciudadana (72%) están dadas por las personas que tienen mayores ingresos. En las encuestas, se pudo determinar, que los bajos ingresos familiares ha contribuido a que las personas pierdan el interés en participar por no ver soluciones a sus problemas; a que tengan que buscar el sustento y sólo usen la cuenca como su lugar de dormitorio, contribuyendo a que no haya empoderamiento del territorio.

En la cuenca existe una tendencia a una participación Nula-baja, considerando que las personas no lo hacen voluntariamente, sino que han sido estimuladas por un lado, para el cumplimiento de una normativa como las juntas locales de acueducto y el mismo comité de cuencas; o los trabajos de recolección y de limpieza que realizan las mujeres en el programa de “Oportunidades” y; por el otro, los que no participan porque han sido excluidos en la toma de decisiones; y finalmente en los que piensan que la solución de los problemas la tiene que dar el Estado, lo cual es una percepción histórica de México, como resultado del paternalismo. Cardozo (2008) plantea que por la ausencia de condiciones propias reales de canales efectivos generados por los gobiernos, la participación, parece ser referida sólo en forma discursiva y con fines de legitimación; por tal razón no se tiene aún las herramientas necesarias para que la participación en la cuenca sea robusta y continua; al particular, Sánchez y Del Pino (2008:51) plantea que “la comunidad aún no posee las herramientas que favorezcan una participación más activa en los asuntos de la colectividad, dada la poca información recibida en relación con la generación de acciones colectivas enmarcadas en los nuevos esquemas de participación.

#### **4 AGRADECIMIENTOS**

Habitantes de la cuenca del río Valles, CONACyT- convenio No. 256955, investigación financiada con: Proyecto cuenca río Valles, Dr. Pedro Medellín Milán, cuerpo académico de ciencias ambientales, facultad de ciencias químicas. Administrado por la Agenda Ambiental Universidad Autónoma de San Luis Potosí-UASLP.

## 5 REFERENCES

- Cardozo, M. 2008. Gestión y evaluación participativas en políticas sociales. En *Política y Cultura*, otoño 2008, núm. 30, 137-163. Revista académica del departamento de política y cultura de la universidad Autónoma Metropolitana, unidad de Xochimilco.
- Dobbs, L. and Moore, C. 2002. Engaging communities in area-based regeneration: the role of participatory evaluation. En: *Policy Studies*, Vol. 23, No 3/4.
- Dubois A. 2008. La construcción de lo público: Participación e inclusión. En *ALBOAN*, No. 48, 23-06-2008. Fundación para el Desarrollo –ALBOAN. [Versión electrónica] consultado el 14 de abril de 2013, en: <http://www.alboan.org/portal/documentos.asp?id=79>
- Geilfus, F. 1997. *80 herramientas para el desarrollo participativo*. Laderas C. A, San Salvador, HCA/ Holanda.
- Gregory, A. 2000. Problematising participation: a critical review of approaches to participation in evaluation theory. En: *Evaluation*, 6(2). pp 179–199.
- Leonel, H.; Aguilar M. y Reyes H. 2010. Factores sociodemográficos y niveles de participación en la gestión de la cuenca hidrográfica del Río Valles, oriente de México. En: *Prospectiva*, No. 15, pp 263-293. Facultad de Humanidades, Universidad del Valle.
- Leonel H. 2011. *Gestión participativa de cuencas hidrográficas: El caso de la cuenca del Río Valles, oriente de México*. Tesis del Doctorado en Ciencias Ambientales, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. 376 p.
- Merino, M. 2001. *Participación ciudadana en la democracia*. Cuadernos de divulgación de la cultura democrática (Núm.4). [En línea] Instituto federal electoral. Cuarta edición, diciembre. Consultado el 14 de abril de 2010, formato html, en: <http://www.bibliojuridica.org/libros/1/499/1.pdf>.
- Palafox, E. B. 2008. *Propuesta de un Modelo de Simulación de Impactos y Vulnerabilidad Ambiental en la Cuenca del Río Valles*. Tesis Maestría Programa Multidisciplinario de Postgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
- Red Interamericana para la Democracia. 2005. Índice de participación ciudadana, 2005. Informe 7 México. Dirección: Secretaría Ejecutiva de la Red Interamericana para la Democracia, Organización Asociada de Apoyo en México. 28 pp. Consultado el 14 de abril de 2013, en [http://www.redinter.org/UserFiles/File/ipc/Informe7\\_Mex.pdf](http://www.redinter.org/UserFiles/File/ipc/Informe7_Mex.pdf).
- Reyes, B.; Ramón, C.; Marlon R.; Lira, N.; López, S, y Nohemí G. 2008. Creación y funcionamiento del Comité de Cuenca Bimunicipal Aguas Calientes, sistematización de experiencias. Serie técnica. Informe técnico no. 369. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza División de Investigación y Desarrollo, Turrialba, Costa Rica. 36 p.
- Salazar, C.. y Jaime, M. 2009. Participación en Organizaciones Sociales en Chile. ¿Una Alternativa para Mejorar el Bienestar Económico de los Hogares. En: *Estudios de Economía*. Vol.36. No. 2 Diciembre. Universidad de Chile. Pp. 191-215. [Versión electrónica], consultada 14 de abril de 2013. <http://www.scielo.cl/pdf/ede/v36n2/art03.pdf>
- Sánchez, L. y Del Pino, M. J. 2008. Una mirada a la participación comunitaria en el proceso de contraloría social. En: *PARADIGMA*, Vol. XXIX, N0 2, diciembre, pp 35–53. [Versión electrónica], consultada el 14 abril de 2013. <http://www.scielo.org.ve/pdf/pdg/v29n2/art03.pdf>
- Santacruz, G. 2007. *Hacia Una Gestión Integral de los Recursos Hídricos en la Cuenca Del Río Valles, Huasteca, México*. Tesis del Doctorado en Ciencias Ambientales, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. 383 p.
- Santacruz, G. 2008. La gestión del agua (autonomía o control del Estado) en la cuenca del Río Valles, Huasteca, México. 10 p. Consultado el 22 de abril en: [http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/cong\\_nal\\_06/tema\\_02/08\\_german\\_santacruz.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/cong_nal_06/tema_02/08_german_santacruz.pdf)

# **DESERTIFICACIÓN DEL TERRITORIO Y DEL ESPACIO SOCIAL. LOS PROCESOS INTANGIBLES EN LA INTERVENCIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS EN MESA DE ESCALANTE**

Dulce Gabriela BARRERA AGUIRRE<sup>1</sup>, Patricia ROITMAN GENOUD<sup>2</sup>

1harragalagos@gmail.com, 2 Profesora Investigadora de la Universidad Autónoma de Querétaro  
[patriciaroitman@yahoo.com.mx](mailto:patriciaroitman@yahoo.com.mx)

## **RESUMEN**

Las presiones antropogénicas se han incrementado sobre los ecosistemas, incluidas las tierras secas. El fenómeno de la desertificación está asociado a la pérdida general de productividad de los ecosistemas, es un proceso de degradación del medio físico y biológico de las tierras áridas, semiáridas y subhúmedas. Este estudio se realizó dentro de una zona rural, en la microcuenca de Mesa de Escalante en el Estado de Guanajuato, misma que conjunta dieciséis años de trabajo e inversión tanto institucional, como operativa, legal y humana, reconociéndola como una microcuenca modelo por el mejoramiento en el manejo de sus recursos naturales y el bienestar de sus habitantes. Este trabajo pretendió identificar qué procesos posibilitaron a construir el éxito de la microcuenca Mesa de Escalante y en función de qué se puede hablar de éxito.

Por sus características biofísicas, esta microcuenca se encuentra en una zona vulnerable a los efectos de la desertificación, convirtiéndose en zona de alta fragilidad frente a las presiones antropogénicas ejercidas sobre ella.

Este trabajo expresa una analogía entre la desertificación del medio biofísico y la desertificación del espacio social, que sirve para sopesar los efectos exponenciales del fenómeno de la desertificación al momento de intervenir un territorio bajo un enfoque de cuencas.

Los resultados señalan que el éxito de la microcuenca también consiste en una serie de elementos intangibles, inconmensurables y difíciles de reconocer, éstos son emociones y sentimientos establecidos entre los habitantes de las comunidades de la microcuenca y algunos agentes con quienes han trabajado.

Palabras clave: espacio social, territorio, enfoque de cuencas, procesos intangibles, desertificación.

## **INTRODUCCIÓN**

Por sus características físico-meteorológicas, la microcuenca Mesa de Escalante se encuentra en una zona tendenciosa a los efectos de la desertificación, entendida ésta como un proceso que está asociado a la degradación de los ecosistemas, que afecta a las regiones secas, semisecas y subhúmedas secas, impactando de manera negativa en el ámbito social, limitando la capacidad de sustentación económico-ambiental de las poblaciones que la padecen. De manera específica, la degradación de la tierra es la pérdida a largo plazo de función y servicios del ecosistema causada por alteraciones de las que no se puede recuperar por sí misma (SEMARNAT, 2009), puede ocurrir en cualquier ecosistema, pero se considera como desertificación, cuando se presenta en zonas secas, semisecas y subhúmedas y es en estas áreas, donde se complejiza dicho fenómeno, ya que los suelos



son particularmente frágiles, la vegetación es escasa y el clima extremo, son zonas de alta vulnerabilidad frente a las presiones antropogénicas ejercidas al ecosistema.

Es así como este trabajo expresa una analogía entre la desertificación del medio biofísico y la desertificación del espacio social, sin pretender que el concepto “desertificación social” sea genérico y mucho menos un arrebato semántico, si no que sirva para sopesar los efectos exponenciales del fenómeno de la desertificación al momento de intervenir un territorio bajo un enfoque de cuencas. En el caso particular de la microcuenca de Mesa de Escalante, fue mediante la metodología cualitativa, que se analizaron los procesos sociales, de organización y gestión que llevaron a las mejoras ambientales y al fortalecimiento social de sus habitantes.

Dentro del contexto rural, hechos como la migración persistente, la constante marginalidad, la desigualdad social, el desempleo y subempleo, el creciente flujo e inserción a los centros urbanos, el envejecimiento y feminización del campo, la dispersión de las comunidades, la sobre explotación de los recursos naturales, es como se va conformando la desertificación del espacio social generalizada de dicho contexto, prolongando un rumbo de deterioro y degradación en las localidades.

Por lo tanto, el alcance general de este trabajo fue poner en evidencia que, desde una perspectiva de gestión de cuencas, la desertificación no solo se da en una lectura espacial de degradación biofísica, como tampoco lo es cuantificar los impactos negativos ni poner porcentajes de pérdida de funcionalidad y estructura de cada uno de los componentes del ecosistema, sino de mostrar un entramado de contextos espacio-temporales diversos, así como también de distintos procesos sociales que se deben considerar, desde múltiples formas de percepción e intervención de un fenómeno tan complejo como lo es la desertificación.

Otro de los alcances de este trabajo, fue comprender en profundidad el discurso de “éxito” de la microcuenca de Mesa de Escalante, con el propósito de reconocer qué factores influyeron a construirlo y desde qué perspectiva se determinó. Destaca la importancia del análisis sobre las dinámicas sociales que se desarrollaron dentro de la microcuenca, como lo fueron los vínculos institucionales y organizacionales, mismos que permitieron alcanzar el buen funcionamiento dentro del contexto social y ambiental de la microcuenca.

Es así, como la desertificación es un fenómeno implicado dentro de un proceso multicausal y gradual que se detona también dentro de las esferas sociales y económicas de las sociedades.

## **METODOLOGÍA**

La metodología que se utilizó en este trabajo fue la metodología cualitativa. Sus principales características son, de acuerdo a Krause Jacob (1995), un interés por comprender el comportamiento humano a partir del propio marco de referencia del que actúa; una observación naturalista y no controlada; una búsqueda de subjetividad, es decir una perspectiva "desde dentro"; una orientación al descubrimiento, la exploración, la descripción y la inducción; es holista; y finalmente, asumir una realidad que es dinámica y cambiante.

Por otro lado, se eligió la metodología cualitativa, debido a que este trabajo expresó una analogía entre la desertificación biofísica y la desertificación del espacio social, ésta última ocupa el espacio intangible dentro del estudio de las cuencas y por lo tanto es difícil de valorar, por lo que la metodología cualitativa permitió un acercamiento con los habitantes de las comunidades respecto a lo que piensan, creen y sienten, asignando valor a su palabra y a su pasado, transmitiendo oralmente

hechos y eventos los cuales resultan significativos para los habitantes de las comunidades de la microcuenca.

Es por ello que este trabajo se desarrolló también, a través de la etnografía, ya que hace posible comprender a plenitud la cultura de una determinada comunidad a partir del examen de las interacciones del más variado tipo que se dan entre sus miembros con la finalidad de apreciar las regularidades, rituales, creencias y valores subyacentes en los fenómenos constitutivos de la vida cotidiana (Villegas y González, 2011).

Detrás de la labor etnográfica para la recolección de información, se estableció una relación de complicidad entre el entrevistado y la entrevistadora en un entramado de diálogos y lazos de comunicación de reconocimiento mutuo. Así el universo de la palabra, el escuchar el pasado y el presente, co-participamos de una sana complicidad comunicativa. El trabajo de campo fue un catalizador que hizo de la palabra hablada y escrita, un canal que nos unió a propios y extraños.

Para realizar el trabajo de campo fue necesario permanecer en la comunidad, es decir, vivir aproximadamente un poco más de un mes en la comunidad, esto implicó cierta comodidad para poderles acompañar, sin contratiempos, en todas sus actividades cotidianas y ampliar la observación, a través de lo cotidiano sobre la comunidad, la historia, la región y lo local como dimensiones de un movimiento complejo que requiere una completa atención.

El trabajo de campo comprendió dos fases, la primera de manera general, consistió en la aproximación con los habitantes de la microcuenca, a través de la interacción continua con la gente y del involucramiento en sus actividades cotidianas con el propósito de abrir el dialogo.

Además, se hizo un reconocimiento del lugar a través de recorridos a los diferentes puntos donde se han hecho, tanto prácticas de conservación de suelo y agua, como de reforestación, se recorrieron las dos de las tres comunidades que conforman la microcuenca, Mesa de Escalante y Mesa del Pueblo. Se fue reconstruyendo la historia del lugar a través de la oralidad de la gente, también se fue explorando la comprensión sobre el enfoque de cuencas por parte de los habitantes, *grosomodo* se permitió la observación geográfica del entorno y la atmósfera social de la microcuenca.

La segunda fase implicó la exploración de los factores que son considerados y reconocidos por los propios habitantes, con los cuales se ha construido un discurso de éxito, se llevó a cabo una sesión con el grupo líder para re construir, desde su perspectiva y experiencia el significado de éxito. Además se exploró en los jóvenes la proyección de vida que tienen dentro o fuera de la comunidad.

## **BÚSQUEDA DE LA DOCUMENTACIÓN HISTÓRICA DEL MUNICIPIO DE SAN LUIS DE LA PAZ**

Previo al trabajo de campo, se hizo una revisión de documentos históricos del Municipio de San Luis de la Paz, al cual pertenece la microcuenca de estudio. Esta revisión tuvo el propósito de observar, a través del recuento histórico, el manejo y gestión del recurso suelo en dinámica con los recursos agua y cubierta vegetal de los alrededores de la microcuenca, pero al mismo tiempo, se buscó hilar eventos de índole económica, político, social y cultural. Lo anterior tuvo como objetivo observar y analizar de qué manera la acción del hombre define la relación con su medio a partir de sus distintas actividades. Dicha revisión, destacó a grandes rasgos momentos históricos importantes que se consideraron en este trabajo; el trazo de la Ruta de la Plata, el Sistema de Haciendas, el

apogeo minero y su culminación, la dotación ejidal a partir del reparto agrario, la conformación de las comunidades (rurales) Mesa de Escalante, Mesa del Pueblo y Rincón de la Mora.

Para esta recapitulación histórica fue necesario revisar documentos en el Archivo Municipal de San Luis de la Paz, en el Colegio de Minería y en el Archivo Histórico de la Nación, estos dos últimos situados en la Ciudad de México, complementándose con el relato de los habitantes de la microcuenca.

Llevar a cabo el recuento historiográfico sobre el uso y gestión del recurso suelo, en este caso, requirió dar explicación a una serie de acontecimientos, donde el tema rector refería al uso y gestión del recurso suelo. Dicho recuento histórico distó de solo la exploración de eventos aislados en el tiempo, demandó en cambio, observar y comprender eventos que significaron dar nuevos usos y ejercer nuevas dinámicas y presiones al recurso suelo derivado de las interacciones con el sistema socio-económico de cada época, dicha conjunción de sistemas fue interpretando como un *continuum*, compuesto de un conjunto de normas, modalidades de acceso y de uso y de gestión del recurso natural y humano, que son expresión de una organización social y de sus relaciones con el medio ambiente y los recursos (Groppo, 2001).

La revisión histórica se realizó a partir de la época de la conquista, específicamente a partir de la fundación de lo que ahora es la cabecera municipal de San Luis de la Paz. El motivo de tomar en la línea del tiempo la época de conquista, es debido a que se da un choque entre paradigmas, la imposición de la civilización sobre culturas originarias completamente establecidas en la relación hombre-naturaleza-cosmos para seducir con la oferta de nuevas visiones, ideologías, creencias y valores sobre el mundo, incidiendo así, de manera directa en la explotación de los recursos naturales, modificando la cantidad y calidad de los mismos e irrumpiendo en los flujos de energía del sistema.

## **RESULTADOS**

### **RECUESTO HISTORIOGRÁFICO**

Las transformaciones que ha tenido el territorio que comprende la microcuenca y la región donde está situada, fueron un escenario de fuertes modificaciones en la respecto al manejo de los recursos naturales. La llegada de los españoles a territorio ahora mexicano, representó el inicio de un enfrentamiento entre dos construcciones sociales. Así, el territorio que comprende la microcuenca, se reestructuraba no únicamente a partir del despojo de las tierras a las poblaciones originarias, sino con la introducción de nuevas formas de usufructo y de producción; como la actividad minera, y también se proliferaron las explotaciones ganaderas dentro de las haciendas, mismas que modificaron el paisaje y destruyeron enormes extensiones de vegetación natural, que como actividad preferente se privilegiaba al dedicársele grandes extensiones en forma de ejidos. Se establecía una población y su consecuente organización social y política, no solo como una nueva forma de relacionarse con el medio ambiente, sino en las condiciones en que ellos inducidos a participar en esa nueva relación.

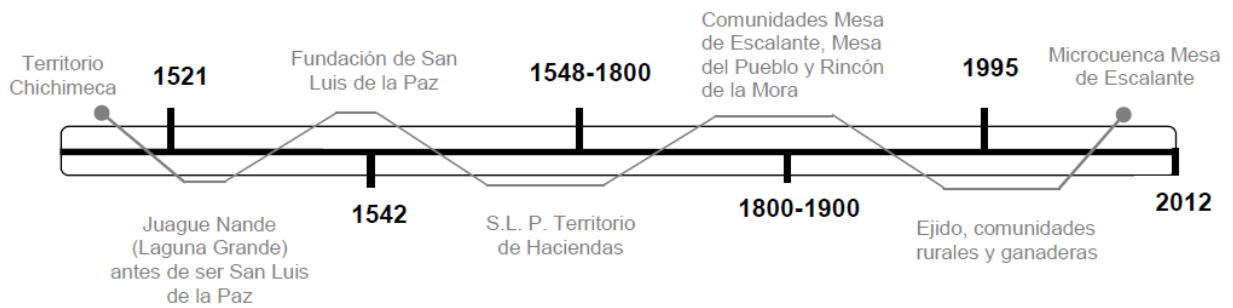


Figura 1 Línea del recuento historiográfico, Elaboración propia, 2012.

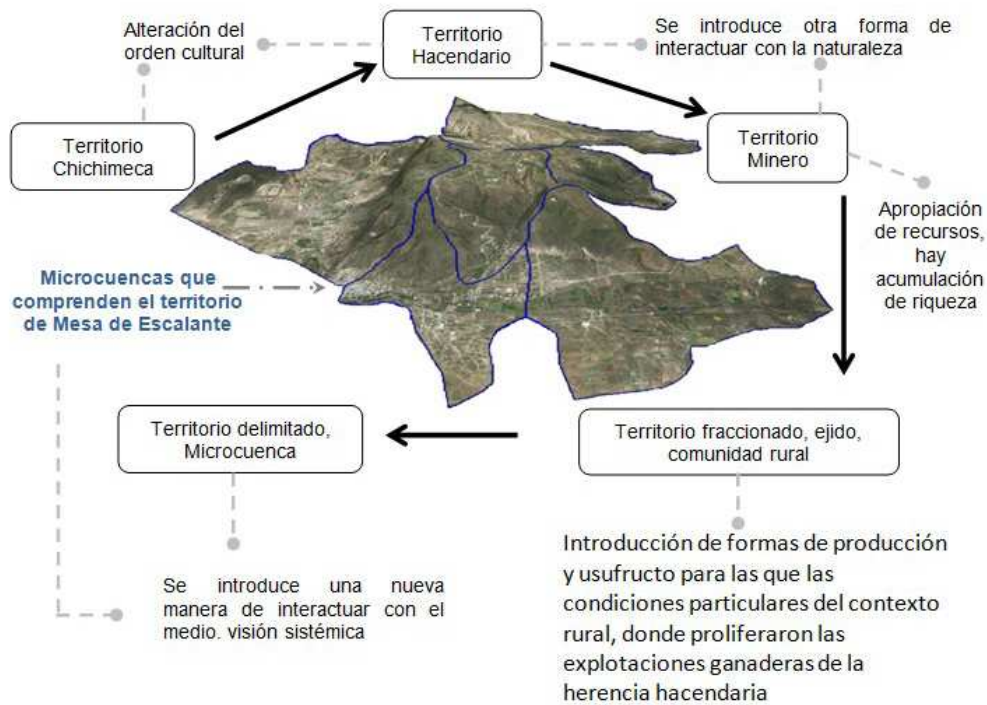


Figura 2 Concepción del territorio y región de San Luis de la Paz en diferentes cortes históricos

Elaboración propia 2012.

## COMPRENDIENDO LAS DIMENSIONES DEL TERRITORIO Y DEL ESPACIO SOCIAL DENTRO DE LA MICROCUENCA

El espacio geográfico se presenta como el soporte de unos sistemas de relaciones, determinándose unas a partir de los elementos del medio físico y las otras procedentes de las sociedades, que ordenan el espacio en función de la densidad de poblamiento, de la organización social y económica, de todo el tejido histórico y cultural que implica la sociedad (Dollfus, 1983).

Mesa de Escalante, Mesa del Pueblo y Rincón de la Mora forman parte de un lugar de múltiples fases que a lo largo del tiempo se han ido (re) construyendo y transformando, como se ha mencionado en el capítulo anterior, pese a estas categorías acumuladas y configuradas del territorio de la microcuenca, Mesa de Escalante, Mesa del Pueblo y Rincón de la Mora también son *hogares*, son el lugar de *trabajo*, son la *vecindad* de un *pueblo*, son el *arraigo* de quienes lo habitan y de quienes se han ido.

Por lo tanto, a medida que los lugares (reales o imaginarios, mercantilizados o significados) inundan nuestra experiencia cotidiana, también se transforma la manera como son vividos en tanto que son realidades físicas, sociales y simbólicas (Oliva y Camarero, 1992).

## **LA MICROCUENCA ANTE UNA NUEVA RURALIDAD**

La microcuenca de estudio se encuentra dentro de un contexto rural y lo rural evidentemente no es más una contraposición con lo urbano como lo refiere Grammont (2004). Partiendo de que el modelo neoliberal ha generado condiciones para la *re-organización* de movimientos sociales (heterogéneos) y contra-hegemónicos que plantea un procesos de apropiación social de la naturaleza desde otras premisas a la racionalidad económica neoliberal (Fuente, 2008), se habla de una nueva ruralidad. El deseo manifiesto de una probable salida de las comunidades se dio en las ocho entrevistas semiestructuradas hechas a los jóvenes de la microcuenca, ya sea por una razón académica o a razón de ampliar sus oportunidades laborales. De acuerdo a las entrevistas y a la comunicación informal, los jóvenes alcanzan el grado de segundo de secundaria.

La falta de educación a nivel básico y media superior, además de las pocas alternativas laborales, son la razón por las que los jóvenes mencionan una posible movilidad fuera de la microcuenca. Es por esto que conocer y comprender las proyecciones que tienen los jóvenes a futuro, es un aspecto clave para la planeación del desarrollo a futuro de la microcuenca, así como también lo es para llevar una adecuada estrategia para incorporarlos en las gestiones de la misma.

Contar con una imagen completa del paisaje demográfico de los habitantes, resultaría conveniente para observar los flujos de movilidad espacial, interpretando así, el uso del territorio dentro y fuera de la microcuenca. Los jóvenes de la microcuenca enfrentan estas actuales condiciones, y como estrato de población que es responsable del cambio intergeneracional del enfoque de cuenca, también son susceptibles de vivir dentro de la economía globalizada, dentro de una modernidad imponente, que seduce a la inmediatez y a la acumulación artificial, como lo han referido la Modernidad Líquida de Bauman (2000) y la segunda modernidad de Beck (2001).

La generación a la que pertenece el grupo líder gestor, es una generación que vivió el proceso de apropiación y configuración de su territorio, aunado a que sus padres fueron quienes se vieron envueltos en los conflictos por la tenencia de la tierra, esto les otorga un vínculo más cercano respecto a su espacio, a su "tierra". En el caso de los jóvenes, el sentimiento de arraigo es más débil y lejano. Esto no quiere decir que no tengan dicho vínculo, pero se ven inmersos dentro de nuevas comunicaciones, de cambios culturales y simbólicos, que influyen en sus vidas cotidianas y se proyectan y por tanto transforman su espacio. La población de la microcuenca ocupa un sitio con tintes de una ruralidad variable, ya que sus habitantes representan familias multiactivas, moviéndose entre contextos urbanos y rurales, ejemplo de esto es que el 95% de Las familias en la microcuenca, tienen residencia en la cabecera municipal de San Luis de la Paz (entrevista semiestructurada, 2012); también lo es, que los habitantes pretenden cambiar las condiciones de movilidad hacia

Estados Unidos, habiendo un aumento en el trámite de visas en la comunidad, y que ésta se feminiza.

Los habitantes de la microcuenca están trastocados por influencias institucionales, por modelos económicos globales, por las propias dinámicas económicas de la región, en sociedades manageriales (del manager y la gestión de la empresa-excelencia), que son transformados por ese tiempo tecnologizado y virtual (Araujo, 2008).

Para ilustrar lo anterior, la microcuenca ofrece un servicio de “muestra de microcuenca exitosa”, como escenario para ejemplificar un caso de recuperación de suelo y sobre el mejoramiento del manejo de ganado, a numerosos grupos visitantes, pese a esto no hay una formalización de estas visitas.

*Aquí nos han visitado, bueno de todo el país creo ya casi nos han visitado ya todos los estados, del extranjero; Guatemala, Venezuela, Perú, Bolivia, y un representante de la embajada norteamericana, y todos los embajadores de Estados Unidos y Centro América, Italia, la ONU.*

*...nosotros hemos ido a Guadalajara, Tabasco con los de la MAGIC, a Guerrero, fuimos a foros, foros internacionales del agua y participado en todo el proceso como se ha venido dando aquí en la microcuenca. -¿Desde cuándo empezaron a recibir gente, los grupos, para compartir experiencias?- en el 99' -Y aproximadamente, ¿Cuántos grupos reciben al año?- Hay años que recibimos más y otros menos, pero fácil unos 15 0 20 al año (Entrevista a profundidad, 2012).*

Esto también implica comprender, que la dinámica de la microcuenca como contexto rural, no es homogénea, no es suficiente catalogarlos como campesinos, ganaderos o propiamente ajenos al contexto urbano. Ya no es apto mantener la visión ortodoxa de lo rural, los habitantes se muestran como nuevos sujetos, no se trata de manifestar nuevas apologías de la ruralidad, sino de trascender a las formas heterodoxas de este contexto.

## **EL ÉXITO DE LA MICROCUENCA; UN PROCESO ACUMULATIVO E INACABADO**

¿Qué es el éxito de la microcuenca? ¿A qué refiere? Asumirse con éxito, es un concepto mucho más amplio que se puede aplicar a Mesa de Escalante, ya que va desde las cosas más pequeñas a las más grandes y significativas. Dentro de los talleres que se realizaron con el grupo líder gestor de la microcuenca, se obtuvo que su éxito, es para el común, dentro del colectivo y se dio mucho antes del reconocimiento institucional bajo un enfoque de cuencas.

*Tenemos nuestros terrenos, si la microcuenca está teniendo éxito todos tenemos éxito, es para todos, no se queda nadie atrás, va a la par. (Taller, 2012).*

Fueron construyendo su éxito desde que les perteneció el territorio, con el cual pudieron ir trabajando para modificar su calidad de vida pese a todos los factores de marginalidad que los caracterizaba en los años precedentes al proyecto de microcuenca. La solvencia económica para mejorar la calidad de vida de los habitantes, es un manifiesto más del resultado de su éxito, pero no el más importante, siendo así, conviene mencionar que el éxito lo refieren primero a todo lo aprendido con buenos y malos resultados. El grupo líder gestor manifiesta que su éxito no está terminado, subrayan que siempre existirá la oportunidad de aprender y de la necesidad de la orientación de las ciencias y las tecnologías. Afirman que faltan muchas otras cosas por hacer en la microcuenca, pero en lo que han avanzado, se afirma su éxito.

En contraparte, hay otros habitantes de la microcuenca que no se encuentran familiarizados con lo referido al éxito, por lo menos no al de la microcuenca, continúan externando que tienen varias

carencias, especialmente en el aspecto económico y laboral. Siendo la pobreza y el trabajo el paradigma de este sentir, resulta un catalizador de su espacio-tiempo social, la productividad y la acumulación de riqueza les genera ritmos definidos desde referentes del mundo capitalista, distintos de los procesos que han llevado bajo el enfoque de cuenca.

Aunado a esto, no ha habido una estrategia concreta, para involucrar a los jóvenes a las gestiones y a los diferentes comités que tiene la microcuenca, para sumarlos al enfoque de cuenca. No fue sino hasta después de la primera intervención de campo, que se comenzó a delegar a algunos jóvenes la responsabilidad dentro de los nuevos comités, este es el caso del comité para el GAVVATT. Esto último también evidencia que la actividad predominante seguirá siendo la ganadería.

## **EL ENFOQUE DE CUENCAS EN MESA DE ESCALANTE**

Los habitantes de las comunidades tienen diferentes niveles de percepción acerca de la microcuenca, por lo que es importante comprender de qué manera los habitantes se hacen o no partícipes del enfoque de cuencas. De los adultos entrevistados y con quienes se convivió durante el trabajo de campo, son los hombres quienes exponen una mayor comprensión biofísica y estructural del enfoque de cuencas, dentro de su definición se encuentra la visión sistémica, es decir, conocen que lo que se haga en las partes altas repercute en las zonas bajas, y que cada acción por pequeña que sea influye en todo el sistema, además de reconocer plenamente que se necesita la colaboración de las instituciones para generar mejores resultados.

Mientras que las mujeres muestran una divergencia en cuanto a la comprensión del enfoque, asocian la cuenca con la organización de las personas, con el constante acompañamiento por parte de la institución, a sabiendas que ellas pueden participar de manera preponderante también en la toma de decisiones para mejorar la comunidad, no solo dentro del rubro ambiental, sino en las diversas actividades como sustento del hogar, desde la gestión de la vida cotidiana. Lo anterior puede servir para elaborar la correspondencia de que los hombres refieren al aspecto biofísico de la cuenca y las mujeres al aspecto del espacio social.

En el caso de los adultos mayores, a pesar de que no hubo definición de qué es una cuenca, al momento de pedirles que trataran de externar a qué lo relacionaban, mencionaban que las cuencas eran el agua en los ríos, los manantiales y los ojos de agua, además de mencionar que si no hay árboles no llueve. En el caso de los jóvenes, acuerdan que la cuenca es la organización de la gente y que de ello dependa que exista trabajo (temporal), porque mientras no se encuentren organizados no puede haber recursos (financieros) para ponerse a trabajar. Mientras los jóvenes comienzan a entender la “cuenca”, a pesar de que en ocasiones se sientan ajenos a la convocatoria de los mayores para acceder a este enfoque, es importante señalar su percepción respecto a la cuenca, ya que representan el cambio intergeneracional a la cual le va a ser heredada la organización de la comunidad así como también el enfoque de cuenca.

Habitantes	¿Qué es una cuenca?	Enfoque de cuencas relacionado a:
Hombres	Partes funcionales de la cuenca; alta, media y baja.	Recursos naturales [todos]
Mujeres	Personas organizadas, mediante juntas y reuniones	Organización de la gente [de la comunidad]
Jóvenes [ambos sexos]	Trabajo [remunerado] y personas organizadas	Organización e Institución
Adultos Mayores [ambos sexos]	No hay definición	Dinámica del agua, escurrimiento y cobertura vegetal

Figura 2. Enfoque de cuencas de la población de la microcuenca. Elaboración propia, 2012.

## EL ESPACIO SOCIAL DENTRO DE LA MICROCUENCA MESA DE ESCALANTE

Los habitantes de la microcuenca cuentan con un antecedente basto de eventos que, en sus propias palabras, condujeron a las condiciones de su presente, antes de asumirse como un territorio delimitado por un parteaguas y de hacerse plenamente conscientes de los factores ambientales interrelacionados y dinámicos que están involucrados dentro de la microcuenca.

Estos hechos narrados por los habitantes, no son tan ajenos de lo que muchas otras comunidades rurales viven en todo el país, condiciones como el desempleo, la migración, la pobreza, la escasez y la incertidumbre forman parte de esos hechos, sin este previo, la historia de su éxito se torna incompleta. Rememorar que las circunstancias de las comunidades estaban ligadas a estas condiciones, indiscutiblemente profundiza en la naturaleza simbólica de su espacio, ya que dentro de este antecedente, se encuentra la memoria particular de los habitantes, misma que construye la memoria colectiva de las comunidades.

Y no solo se habla de una experiencia de trabajo en el cuidado y manejo de sus recursos naturales, no solo son 1,572 hectáreas reforestadas, las 900 hectáreas de magueyes plantados, de la cantidad de recuperación de suelo, ni de los metros cúbicos de agua captada, así como tampoco de la cantidad de capacitaciones que han recibido para tal o cual proyecto, se habla de un hecho que no se cuantifica como tal, del cual no se puede decir que recibieron al inicio del proyecto de microcuenca 20 mil toneladas de confianza, los cuales se infiltraron en sus 5,864 hectáreas de amor, sembrando 15 mil semillas de ganas, gracias a las 10,000 horas de paciencia de seguimiento técnico en sus actividades.

Esto que no se cuantifica, se ve reflejado dentro su espacio social y no se trata de una mera armonía y congruencia física entre el lugar y los habitantes, sino que en verdad, las formas de los elementos ambientales ciertamente poseen un significado.

Para ellos, la historia es un componente importante y necesario para comprender su éxito. Su experiencia de vida les otorga el derecho para poder externar su sentir, son personas informadas, comprometidas, críticas y propositivas ante lo que les acontece.

*-¿Qué cree que sea lo que hace que allá (E.U.) que aquí no se haga, porqué allá si se puede y aquí (México) no? ¿Será la corrupción?-*

*Yo pienso que es la civilización, pues es otra sangre allá, son los ingleses y acá, me dicen oye no nos hagamos tontos del río Bravo hacia el sur porque alguien nos decía que se acaba la corrupción, ojala, pero no es mi punto de vista, sí muchos queremos y buscamos la forma algo se puede hacer, pero decir que se va terminar por terminar le digo no es cierto, cruzando del Río*



*Bravo hacia el sur excepto no sé, allá Brasil, Portugal esos países no sabría, pero todo lo que fue gobernado por España es una mentira, a lo mejor estoy equivocado pero así somos, así nos enseñaron, es mi punto de vista; ya cruzando la línea conociendo lo que son los ingleses, lo que es los mexicanos, que tenemos la herencia española y si nos vamos a España pos va a ser lo mismo y a lo mejor si vamos a Italia o Alemania ya es otra cosa, yo así lo he percibido (Entrevista a profundidad, 2012).*

## **EL COMPONENTE EMOCIONAL Y AFECTIVO DE LA MICROCUENCA**

A través de la interacción constante dentro de las comunidades de la microcuenca, de mirar, compartir, colaborar y acompañar es que se logró abordar el componente emocional y afectivo de los habitantes. Ellos también manifiestan la necesidad de compartir permanentemente su sentir a través de la conversación, pretendiendo tener así, una garantía de que ellos continúan en la comunidad y de que forman parte de la comunidad, a pesar de que el territorio se manifieste dentro de nuevas delimitaciones (hacienda, ejido, parcela, comunidades rurales, microcuenca, Guanajuato, San Luis de la Paz) y de que el mundo se encuentre en continuo movimiento, convirtiendo así, el lenguaje en un acuerdo social sobre la realidad, sobre cómo designarla, y dentro de éste se da la comprensión y la inteligibilidad del mundo (Mendoza, 2005).

Sin embargo, la memoria de algunos habitantes no siempre ocupa el lenguaje como vehículo transmisor de su sentir, tienen otras formas de expresión, como por ejemplo archivo visual; este es el caso de una habitante de la comunidad de Mesa de Escalante, que por mucho tiempo ha fotografiado la comunidad y ha sido un testigo de los cambios y alteraciones, del comportamiento variable del paisaje dentro de la microcuenca. Además de mantener el registro de los cambios estacionales de la microcuenca.

*A mí me gusta mucho sacar fotos de todo, así no se me olvida nada, tengo los recuerdos, los tengo todos, me hubiera gustado estudiar eso [fotografía] (entrevista a profundidad, 2012).*

Esta persona demuestra que el límite del lenguaje no es la ausencia de verbalización, habla a través de sus imágenes, parte de su memoria está compuesta de píxeles, mismos que se componen de sentimientos y recuerdos, son imágenes que están repletas de significado y esta significación la hace consciente de su entorno.

Además de utilizar la fotografía como “el arte del recuerdo” hay gente que se vale de otras actividades para manifestar su sentir dentro de la microcuenca, son actividades cotidianas que pueden pasar desapercibidas pero procuran conciliarse en la ciencia de la vida, estas van desde cortar el maguay para alimentar al ganado, hasta su vacunación y desparasitación.

Todos y cada una de estas acciones, por más que se encuentren dentro de la organización de la vida diaria, la repetición y reiteración de actividades, son el horizonte donde los habitantes comprenden el mundo, al otro y a ellos mismos. Las actividades en común de los habitantes, recrean el espacio afectivo donde cada uno de ellos tiene la oportunidad de *ser* con el otro y de forjar su colectividad, mediante la confianza, donde se basa gran parte de las relaciones interpersonales más significativas (familiares, amistades, laborales), la pérdida de ésta, va restando el potencial necesario para adaptarse creativamente al medio ambiente, para aprender a través de la experiencia y desarrollar una existencia con sentido, es decir, llegar a tomar conciencia plena de sí mismo, lo que va a permitir diferenciarse del mundo externo (Morales, 2000).

## CONCLUSIONES

La panorámica temporal del recuento historiográfico no representó mirar lo caduco o lo concluido, sino la pauta que me permitió explicar lo que hoy la microcuenca Mesa de Escalante es como es. Mirarla dentro de una sociedad “moderna”, lo que requirió salir del parteaguas de la microcuenca para mirar la continuación de eventos que dieron sentido espacio-temporal a su territorio.

Así mismo se observó que los fenómenos asociados a la alteración del funcionamiento de los sistemas naturales (en este caso el recurso suelo, agua y cobertura vegetal), sociales y culturales en tierras secas, conforman en su conjunto, la problemática de la desertificación. Mesa de Escalante está situada en un región con características tendientes a los efectos de la desertificación, considerada semidesértica. Este respeto no pudo pasar por alto al momento de realizar la caracterización biofísica de la microcuenca. De esta forma, se pudo observar que la escala de estudio resulta importante, no sólo bajo categorías de cuenca, subcuenca, microcuenca, empero en una escala temporal. Mirar las escalas dimensionales entre; procesos intermitentes y cíclicos como las sequías, de larga duración como los procesos geomorfológicos, las constantes variaciones en el clima, o los complejos cambios dentro de una sociedad donde el tiempo parece sufrir dilataciones y contracciones dependiendo de sus procesos socioeconómicos.

Se concluye que el éxito de esta microcuenca no está terminado así como tampoco representa el sentir de “todos” sus habitantes, sin embargo esto no se traduce en un aspecto negativo ni determinante, implica permutar hacia otro ciclo de trabajo, con nuevos desafíos propios de esta acelerada sociedad moderna y sin lugar a dudas para la población de la microcuenca. Para el caso del fenómeno de la desertificación, se subraya que las características morfológicas, climatológicas, meteorológicas de la microcuenca le confieren vulnerabilidad ante el fenómeno de la desertificación, si no se continúa con el uso racional de los recursos respetando sus características y capacidades e interacciones entre los mismos, pero al mismo tiempo, el cambio intergeneracional del enfoque de cuencas se encuentra en un momento clave donde los jóvenes decidirán si lo continúan o no, si se apropian del enfoque de cuencas o no, abriendo a la posibilidad de que todo lo que se ha trabajado en los dieciséis años, se torne en un abandono por las generaciones próximas. Para la intervención de cuencas, dentro de un contexto rural, se necesita trascender la antigua visión de lo que es propio de lo rural, entender y caracterizar el contexto rural reconociendo que existe en esos espacios, sus particularidades pero que a su vez mantienen conexiones con lo meso y lo macro, y son resultado de una sumatoria de eventos transversales en el tiempo.

Es así, que atender lo que se menciona anteriormente resulta de un carácter distinto a la cuantificación de las dimensiones físicas de la sequía, de la degradación del suelo o de algún otro recurso, o de las estadísticas económico-productivas e la microcuenca. Es lo referente a su intangibilidad, sin embargo, no por considerarlo de esta manera quiere decir que sea imperceptible, inexistente e irreal, como un fenómeno imposible de estudiar.

De acuerdo a las condiciones del espacio social de la microcuenca Mesa de Escalante, se obtuvo mediante el trabajo en campo, la existencia de esos elementos intangibles que se traducen como “sentimientos”. Dichos sentimientos lograron exteriorizarse a través de las entrevistas, pero sin lugar a duda se obtuvo un mejor panorama mediante las historias de vida y de la cotidianidad dentro de la microcuenca. La diaria interacción permitió un mejor diálogo con los habitantes y así se pudo mirar el paisaje la microcuenca. Precisamente Nogué (2011), hace mención a la Geografía de las emociones:

*El paisaje es, a la vez, una realidad física y la representación que culturalmente nos hacemos de ella; la fisonomía externa y visible de una determinada porción de la superficie terrestre y la percepción individual y social que genera; un tangible geográfico y su interpretación intangible. Es, a la vez, el significante y el significado, el continente y el contenido, la realidad y la ficción.*

## REFERENCIAS

- Alfaro W. (2005). "Conceptos básicos para el análisis social, económico, ambiental e institucional de la desertificación". Capítulo dos de Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. CEPAL.
- Antón Danilo J. (1999). "Diversidad, globalización y la sabiduría de la naturaleza". Piriguazú Ediciones, CIID, 304 p. Montevideo, Uruguay.
- Araújo, Ana María (2008). "El sujeto y el tiempo en la Hipermodernidad: vértigos e incertidumbres". CCE (Centro Cultural de España). Montevideo.
- Bauman Z. (2006). "Modernidad Líquida", Buenos Aires Argentina. Pp.82-86.
- Brooks, K.N., Folliott, P.F., Gregerse,n H.M., DeBano, L.F. (1997). "Hydrology and the Management of Watersheds", Iowa State University Press/Ames, United States of America.
- Dollfus O. (1983). "El Espacio Geográfico" Segunda Edición, Oikus-Tau SA. Barcelona.
- Grosso, P. y Toselli, P. (1997). "Desde la ciudad al territorio: la nueva problemática periurbana. Reforma agraria, colonización y cooperativas". 1997/2. Roma. Disponible en:  
<http://www.fao.org/sd/LTdirect/LR972/w6728t03.htm>
- Jiménez (2007) Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Material de referencia en curso de maestría en Manejo de Cuencas Hidrográficas I. Turrialba, CR, CATIE. pp. 20
- Krause Jacob, M. (1995). La investigación cualitativa: Un campo de posibilidades y desafíos. *Revista Temas de Educación*, 7, 19-39.
- Mendoza J. (2005). "Exordio a la memoria colectiva y el olvido social". *Ateneha Digital*, otoño, número 008. Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Morales M. (2000). "Confianza y desarrollo del potencial humano" Disponible en:  
<http://www.topconsultores.cl/img/Confianza%20y%20Desarrollo.pdf>
- Oliva, J. y Camarero, L. (2005). "Paisajes sociales y metáforas del lugar". Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- Quaranta G., Salvia R., Caggiano M. (2004). "Sistema de Indicadores sobre Desertificación para la Europa Mediterránea". *Cambios en la Estructura Social*.
- Villegas M. y González F. (2011). "La investigación cualitativa de la vida cotidiana. Medio para la construcción de conocimiento sobre lo social a partir de lo individual". Vol. 10, No. 2. *Psicoperspectivas Individuo y Sociedad*.
- Fuente M. (2008). "Nueva Ruralidad comunitaria y sustentabilidad: contribuciones al campo emergente de la economía ecológica". ISSN 13902776. *Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, México. Disponible en: [http://www.redibec.org/IVO/rev13\\_04.pdf](http://www.redibec.org/IVO/rev13_04.pdf)

## MESA V

### POLÍTICAS PÚBLICAS, ARTICULACIÓN INSTITUCIONAL Y CONSTRUCCIÓN DE CONSENSOS



# CONSTRUCCIÓN DE CONSENSOS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN COMUNIDADES CAMPESINAS DE LA MONTAÑA DE GUERRERO.

Pilar MORALES, Nicasio CORRALES, Rubén SÁNCHEZ, Rafael MOTA, Felipe CHANA, Guadalupe HERNÁNDEZ, Catarina ILLSLEY

Grupo de Estudios Ambientales y Sociales, AC. Allende 7, Santa Úrsula Coapa, 04650 México, D.F. Teléfono (01 55) 56 17 90 27, correo electrónico [gea@laneta.apc.org](mailto:gea@laneta.apc.org)

## RESUMEN

Las comunidades de origen nahua de la Montaña de Guerrero presentan alta a muy alta marginación. El abastecimiento de agua proviene principalmente de las llamadas aguas mínimas, sobre todo de manantiales (Vargas y Piñeyro, 2005). Cada comunidad realiza la gestión de su agua de acuerdo a sus instituciones propias. Se genera un cuerpo de normas y acuerdos internos específicos para cada comunidad, tanto para el abasto de agua para consumo humano como para la gestión de sus territorios, incluyendo las ceremonias y rituales asociados. También se establecen acuerdos entre dos o más comunidades, para estos mismos fines. La gestión del agua incluye instituciones de acción colectiva como el tequio y la mano y vuelta. Los mecanismos de toma de acuerdos son dinámicos y permiten que se vayan cambiando y adaptando a las nuevas necesidades de las comunidades, respondiendo a los cambios ambientales, económicos, sociales y culturales.

Aquí se presenta un caso detallado de la forma en que se establecen y se adaptan y cambian estos acuerdos, sobre todo los intercomunitarios en la microcuenca de Las Joyas. En la zona existen ejidos, comunidades y pequeños propietarios, y todos ellos interactúan en el establecimiento de acuerdos de algún tipo. Se ilustra la manera en que los acuerdos van tejiendo una compleja red de relaciones humanas en toda la región, que incluye conflictos y debates, y la manera en que algunos se han resuelto. Se ve también como éstas se relacionan con las instancias de gobierno formal, las políticas públicas y la sociedad más amplia.

Finalmente se presenta la manera en que el proyecto Agua Compartida del Grupo de Estudios Ambientales y Sociales AC ha acompañado algunos de los procesos de acuerdo intra e intercomunitario para el manejo sustentable de las microcuencas y como está impulsando un proceso para la construcción de una instancia de decisión y gestión que incluye a 14 comunidades de una cuenca.

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo presentaremos la forma como se establecen y se adaptan los acuerdos para la gestión del agua en comunidades de nahuas de la región Centro-Montaña de Guerrero. Específicamente, hablaremos sobre los acuerdos que se toman en la microcuenca llamada Las Joyas, ubicada en el municipio de Ahuacuotzingo y la forma como el proyecto Agua compartida para todos, del Grupo de Estudios Ambientales y Sociales AC (GEA) ha impulsado la toma de acuerdos intercomunitarios para el manejo de microcuencas.

### La región

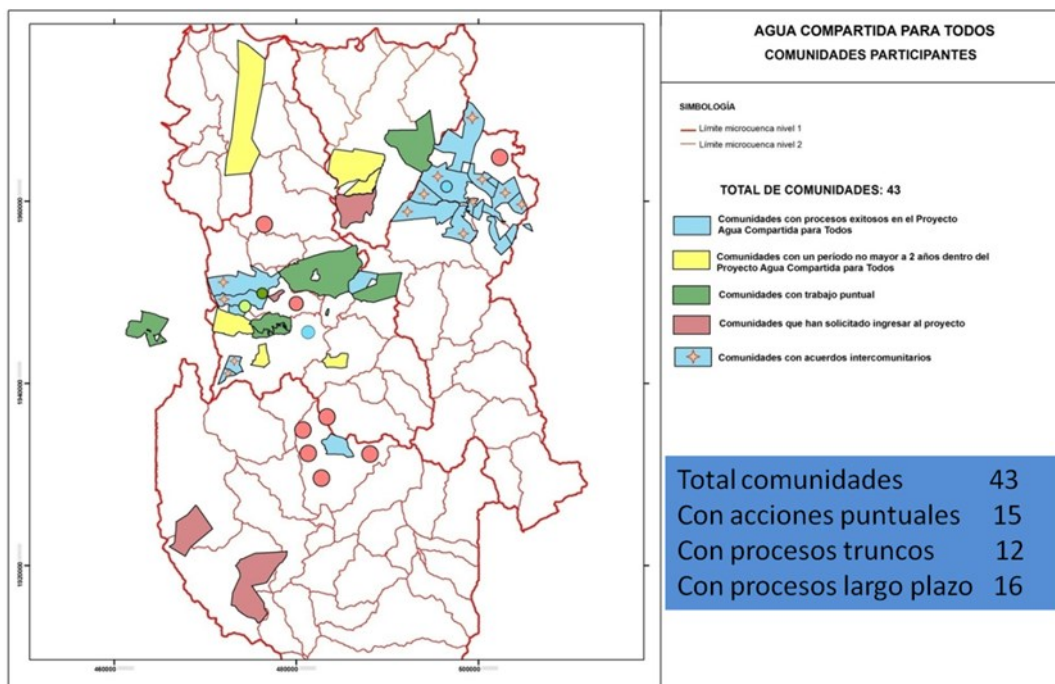
La principal región de trabajo del GEA se ubica en dentro de la cuenca del Río Balsas, en la Región Hidrológica 18, Subregión Hidrológica 18A Alto Balsas, Subcuenca del Río Mezcala (CONAGUA), en comunidades y

ejidos que se localizan en las microcuencas tributarias Chilapa-Zitlala y las Joyas, que comprenden los municipios de Chilapa de Álvarez, Zitlala y Ahuacutzingo. También se trabaja en una microcuenca de la Región Hidrológica 20 correspondiente al río Papagayo, que hemos denominado Limontitlán.

El paisaje es montañoso con pocos valles, suelos alcalinos y pedregosos litosoles, regosoles, y rendzinas (INEGI, 2001) con climas desde cálido semiseco (Bs1), cálido subhúmedo (Aw0), semicálido subhúmedo (A(C)) hasta templado subhúmedo (C), con vegetación dominada por bosque de encino y bosque tropical caducifolio con abundantes leguminosas y *Burseras* (INEGI, 2001b)

La población es de origen nahua, presenta elevados índices de desnutrición, mortalidad infantil y marginación social. En esta región habita una población total de 121,785 habitantes, de la cual un 42.6% representa la población económicamente activa (INEGI, 2010)

En la región los principales problemas ambientales son la deforestación por apertura agrícola, la pérdida del suelo, y la contaminación y disminución del gasto de las fuentes de agua.



**Mapa 1.** Comunidades participantes en el proyecto Agua Compartida para Todos.  
Fuente Informe final de GEA, 2011.

### Microcuenca Las Joyas

La microcuenca de Las Joyas Tiene una extensión de 483.03 km<sup>2</sup> y la longitud del cauce principal es de 74.25 km, tiene una pendiente media de 2.05%. El cauce principal nace a los 2,311 msnm que al descender pasa por las comunidades de: Trapiche viejo, Yerbabuena hasta llegar a los 782 msnm y juntarse con las aguas del río Pochutla que después forman parte del río Mezcala. (Reyes, 2011). Cuenta con un relieve accidentado, con clima seco y templado, con lluvias de junio a septiembre y precipitación de 1,100 milímetros. En las zonas más altas

cuenta con bosques de encino, encino-pino, en la partes medias y bajas selva baja caducifolia y zonas agrícolas. Cuenta con 18 comunidades y 7,916 habitantes, donde el 43.6% son hombres y el 54.4% son mujeres, El 39% de la población es económicamente activa y aproximadamente menos del 30% tienen derechos agrarios. Las comunidades de LasJoyas con las que GEA ha trabajado son: de la cuenca Las Joyas Oxtoyahualco, Xocoyolzintla, Agua Zarca, Trapiche Viejo, Tlalcomulco, Mazapa, Acateyahualco, Anexo Mazapa y la Yerbabuena, En el mapa son las que se encuentran en el lado superior derecho; son vecinas ente sí. Los ejemplos que citaremos corresponden precisamente a estas comunidades.

### Tenencia de la tierra y acceso a los recursos naturales

En la microcuenca Las Joyas la tenencia de la tierra principalmente es ejidal. Sin embargo, los terrenos ejidales están rodeados por pequeñas propiedades que pertenecen a ejidatarios o ciudadanos de las mismas comunidades. En los poblados conviven ejidatarios y ciudadanos o avecindados, es decir aquellos que no tienen derechos agrarios dentro de las tierras de uso común. Sin embargo pueden aprovechar los recursos naturales con los que el ejido cuenta. Los avecindados en su mayoría son los sin tierra de las comunidades.

**Cuadro 1** Tenencia de la tierra en comunidades de la microcuenca Las Joyas, Ejidatarios y Avecindados. Elaboración propia a partir del trabajo de campo, 2013.

<b>Poblado</b>	<b>Tipo de Tenencia</b>	<b>Ejidatarios</b>	<b>Avecindados</b>
Oxtoyahualco	Ejido y pequeña propiedad	87	53
Xocoyolzintla	Ejido y pequeña propiedad	107	393
Agua Zarca	Ejido	75	45
Trapiche Viejo	Ejido y pequeña propiedad	90	40
Tlalcomulco	Ejido y pequeña propiedad	35	115
Mazapa	Ejido	17	4
Acateyahualco	Ejido	68	10

### La organización comunitaria

En la estructura organizativa e institucional de las comunidades la máxima autoridad es la asamblea. En el territorio común ejidal la asamblea de ejidatarios es quien toma las decisiones representada por sus autoridades: el presidente de bienes ejidales, su comité y el consejo de vigilancia.



En cuestiones civiles la asamblea de ciudadanos es quien toma las decisiones la representa: el comisario municipal, su segundo y la comandancia. Dentro de las decisiones que toma la asamblea de ciudadanos, se encuentra la distribución del agua. El acceso a los manantiales se gestiona en las asambleas ejidales, cuando estos se encuentran en terrenos de uso común. La red de distribución se gestiona desde la asamblea de ciudadanos. El drenaje, las escuelas, los servicios de salud, las iglesias y festividades religiosas, entre otros son discutidos ante la asamblea de ciudadanos y el comisario municipal.

A continuación se muestra un esquema de la organización comunitaria general en la microcuenca Las Joyas.



**Figura 1.** Representación gráfica de la organización comunitaria de los ejidos de la región. . Tomado del taller de intercambio Centli-GEA 2012.

### Acuerdos entre las comunidades de la microcuenca de Las Joyas

**Acuerdos religiosos:** De manera tradicional, las comunidades realizan festejos católicos a los santos que veneran año con año. Las comunidades cuentan con una compleja organización para realizar los festejos, mayordomías y diputaciones encargados de realizar una serie de actividades que involucran a toda la comunidad. En estos festejos, los mayordomos y las autoridades invitan a las comunidades vecinas para que los acompañen durante los rituales. Para corresponder a la invitación, los pobladores vecinos asisten en peregrinación, llevando ofrendas al santo patrono: flores, velas, animales domésticos, mezcal, y en ocasiones al santo de la comunidad. Estas peregrinaciones son recibidas en las iglesias y se ofrecen alimentos en la casa de los mayordomos, cuando se llegan los festejos religiosos de las comunidades vecinas, se corresponden las invitaciones de la misma manera.

En la región los primeros días de mayo se celebra “la santa cruz” y la petición de la lluvia. El comité de agua potable se encarga de organizar en las ofrendas y rezos en los manantiales de donde se abastecen las

comunidades. Cuando se trata de un manantial perteneciente a otra comunidad, los usuarios invitan a los dueños del manantial para que convivan. Estos asisten al sitio a realizar los rezos y a compartir la ofrenda.

Estos tipos de acuerdos y relaciones se realizan a través de invitaciones orales o escritas que se hacen llegar a las comunidades.

**Acuerdos para el pastoreo de ganado:** Algunas comunidades tienen el espacio, agua y pastos suficientes para poder rentar sus tierras para el pastoreo de ganado. Ganaderos de otras comunidades buscan estos ejidos para poder establecer acuerdos de acceso a estos espacios. Los acuerdos se establecen directamente entre el ganadero y las autoridades o en su caso, con el pequeño propietario. En asamblea los ejidatarios deciden si rentan su terreno, cuántas cabezas de ganado se recibirán por año y el costo por cada animal que se admita. El cuidado del ganado es responsabilidad de ambos los dueños del terreno y del ganadero. Estos acuerdos generalmente se hacen de palabra, cuando el ganadero lleva sus animales, el consejo de vigilancia se encarga de contarlos. Si el ganadero sin avisar introduce más ganado del permitido, se rompe el acuerdo.

Cada año la asamblea de ejidatarios discute la conveniencia de continuar con la renta del espacio, de manera empírica analizan qué tan afectado está el potrero. Cuando se ha afectado demasiado, deciden no rentar hasta que este se recupere.

**Acuerdos por el maguey:** El aprovechamiento del maguey en la región es una de las actividades económicas más importantes de la región. Son muy diversas las formas de aprovechamiento y las estructuras organizativas que se crean alrededor de él. Las asambleas discute y decide la forma de aprovechamiento. Algunos de los acuerdos que existen para el aprovechamiento del maguey es venderlo a productores de otras localidades. Esto se da principalmente cuando no existe producción local. Hay dos formas principales para la venta del maguey:

- Entre los ejidatarios se hace un reparto equitativo anual del maguey llamado tareas (cada tarea corresponde a treinta cabezas de maguey), cada ejidatario decide qué hacer con sus tareas. Algunos formalizan acuerdos con productores para la venta, puede ser; a medias (del mezcal obtenido por el maguey, la mitad es para el productor y la mitad para el dueño del maguey) o puede ser venta, se establece un precio por maguey, el pago es realizado en dinero efectivo o su valor se traduce en litros de mezcal.
- Cuando el maguey no es repartido entre los ejidatarios, este es vendido por las autoridades. La asamblea de ejidatarios decide a quién vender, el precio por cabeza de maguey o si se renta el terreno por un precio único, sin importar el número de maguey labrado.

En cualquiera de estos casos, es el consejo de vigilancia quién se encarga de verificar: que el maguey labrado sea el adecuado y no se labre maguey inmaduro. Vigila que se labre el número de magueyes acordados, que no se perjudique a otras especies por extraer el maguey; respetar algunos magueyes que sirvan como semilleros y que se labre solo en el espacio donde se asignó el aprovechamiento. Si se infringe alguno de estos se rompen los acuerdos y se sanciona cuando es necesario.

**Acuerdos para la leña, palma, animales silvestres y otras especies:** La escasez de estos recursos en los ejidos, hace que se hagan acuerdos con otras comunidades, pero principalmente con pequeños propietarios. Cuando la extracción es para el consumo del hogar generalmente con propietarios no hay costo alguno o es un costo simbólico. En las zonas de uso común cuando se solicita la extracción de leña para venta o la caza de

animales, la asamblea decide la cantidad que se puede extraer o cazar y el precio que debe pagar. El consejo de vigilancia se encarga de verificar que se cumpla el acuerdo. Sin embargo, también es muy común la extracción de leña o la caza sin permiso. Para tratar de solucionar esta situación las asambleas levantan actas y mandan oficios a las comunidades vecinas donde solicitando se detenga la caza o extracción de leña ilegal, pero no siempre es atendida.

**Acuerdos para la provisión de agua:** Cuando las fuentes de agua dentro del territorio de la comunidad son insuficientes o de mala calidad las asambleas y sus autoridades deciden comenzar la

<b>Acuerdos</b>					
Comunidad / ejido	Recibe visita y apoyo en fiestas religiosas de los patronos locales.	Recibe ganado de	Vende Magueya	Produce y vende mezcal	Provee de agua
Acateyahualco	Agua Zarca, Tenancititlan Tepetlatipa	Xocoyolintla Agua Zarca		Vende mezcal	Mazapa, Agua Zarca, Yerbabuena, Motuapa
Totolzintla	Acateyahualco, Mazapa				Tenancititlan, Acateyahualco
Tenancintitlan	Acateyahualco, Totolzintla, Mazapa				
Yerbabuena	Acateyahualco, Motuapa, Agua Zarca				
Mazapa	Acateyahualco, Tepetlatipa, Totolzintla	Xocoyolintla, Trapiche Viejo.		Vende mezcal	
Motuapa	Yerbabuena, Acateyahualco			Vende mezcal	
Tlalcomulco	Trapiche Viejo, Agua Zarca			Vende mezcal	Trapiche Viejo
Trapiche viejo	Tlalcomulco, Agua Zarca			Vende mezcal	
Agua Zarca	Tlalcomulco, Trapiche Viejo, Xocoyolintla				
Xocoyolintla	Tepoztlán, Tecolcuautla, Oxtoyahualco			Vende mezcal	Oxtoyahualco
Oxtoyahualco	Tecolcuautla, Rincón Peñitas, Xocoyolintla		Santa Cruz, Xocoyolintla		

**Cuadro 1.** Tipo de relaciones y acuerdos intercomunitarios entre las comunidades de la microcuenca Las Joyas. Elaboración propia a partir de trabajo de campo. 2013

gestión de agua ante comunidades o pequeños propietarios vecinos. Para la gestión, las autoridades ejidales y municipales se unen y solicitan ante la asamblea el agua requerida. Tradicionalmente se lleva un poco de mezcal para “platicar contentos” y poder llegar a acuerdos. En ocasiones las fuentes de agua se encuentran en territorios que son pequeñas propiedades, cuando es así se visita al propietario del recurso. Cuando el agua se concede la asamblea elige un comité que los represente ante la gestión en diferentes dependencias o dentro de la comunidad para lograr acercar el vital líquido hasta el poblado. Se construye la infraestructura necesaria, en muchas ocasiones todos estos gastos corren a cargo de los usuarios. En seguida se ejemplifican algunos casos de este tipo de acuerdos.

Tlalcomulco y Trapiche Viejo son ejidos colindantes, Tlalcomulco ubicado en la parte alta de la cuenca cuenta con una gran extensión de bosques los cuales están asentados en zonas de alta permeabilidad, es una zona de recarga importante para los manantiales de la cuenca. El ejido de Trapiche Viejo colinda aguas abajo. Su poblado se encuentra muy cercano a los límites con Tlalcomulco. Desde hace 20 años la asamblea de Trapiche Viejo solicitó agua a Tlalcomulco pues sus manantiales comenzaban a agotarse. Tlalcomulco les concedió el agua del manantial de Pancomulica. La infraestructura requerida fue construida con cooperaciones que los usuarios de Trapiche Viejo hicieron. Trapiche Viejo en reciprocidad con Tlalcomulco cada año en la ofrenda al manantial invita a Tlalcomulco a compartir juntos la comida y bebida. Y cuando son las fiestas patronales asisten los peregrinos con bebida y toros para los festejos. Tlalcomulco hace lo mismo ahora en las fiestas patronales de Trapiche Viejo. Esto ha hecho que los lazos de convivencia sean cada vez más fuertes.

Acateyahualco es un ejido del municipio de Ahuacutzingo, ubicado en la parte alta de la cuenca con un territorio que abarca casi 1,500 ha. Cuenta con bosque de encino y de encino-pino en sus partes más altas y con bosque tropical caducifolio en las zonas bajas. El ejido cuenta con 28 manantiales distribuidos en su territorio. El poblado de Acateyahualco se distribuye en 3 localidades anexas denominadas localmente cuadrillas. Cada cuadrilla es responsable de gestionar el agua para sus pobladores. Las cuadrillas Motuapa y la Yerbabuena tienen agua de las fuentes del ejido; para solicitarla tuvieron que pedir permiso a la asamblea de ejidatarios. La cuadrilla de Acateyahualco se ubica dentro de los terrenos de Totolzingtla, ejido vecino. Acateyahualco da agua a el ejido de Mazapa y Agua Zarca del manantial de La Cañadita, toda la infraestructura para hacer llegar al agua a los poblados fue gestionada por cada comunidad. Cuando son las festividades sobre la petición del agua, los ejidos ofrendan en los manantiales. Mazapa y Agua Zarca invitan a los de Acateyahualco para que los acompañen en los rezos comparten la ofrenda, conviven, y se refrenda nuevamente de manera implícitos acuerdos que se tiene y la colaboración entre las comunidades.

### **Acuerdos para resolver conflictos**

El ejido de Tenancitlan se ubica en la parte baja de la cuenca, el agua disponible que tienen se ubica en la parte más baja del ejido. Cuando comenzaron a gestionar el agua, se hizo un comité que gestionó ante las dependencias de gobierno la infraestructura y el apoyo para poder distribuir el agua. Les otorgaron tubería y una bomba, para poder extraer el agua del pozo y hacerla llegar a todos. La falta de capacitación y de administración comenzó a generar conflictos, ya que la red no era suficiente para todos los hogares, la ubicación de algunas casas en las partes altas, hacía que estas no alcanzaran agua. La bomba se descompuso y no había recurso para pagar su compostura, pues se hacían cooperaciones cada mes para poder pagar el recibo de energía eléctrica pues

el costo era muy elevado. De tal manera que el pueblo se quedó sin agua nuevamente. Por lo que se organizaron y en asamblea decidieron solicitar agua a Totolzintla “*Como ahora ya cada quien manda en su terreno (por el PROCEDE), fuimos a ver a la dueña del manantial, la señora ya es grande y viuda, está sola, fuimos las autoridades y el pueblo, todo el pueblo y le hablamos con mucho respeto. Le solicitamos el agua para el pueblo. Ella no nos dijo que no, nos dijo que tenía que hablar con su asamblea. Fue ante la asamblea de Totolzintla y luego nosotros también fuimos, llevamos mezcal para platicar a gusto. Los de Totolzintla dijeron que si y la señora también nos dio permiso. Entre todos aquí decidimos ayudarla, porque le digo, es sola y grande, ya nadie le ayuda y si ella nos da agua, nosotros debemos ayudarla. No es un pago, porque la verdad no lo es, es una gratificación que le damos cada año, todos nos cooperamos y no es igual que pagar el recibo, ese dinero se malgastaba, ahora nuestro dinerito le ayuda a la señora*” (Don Marcelo Pineda 2º comisariado de Tenancititlan).

### **Políticas públicas y acción gubernamental**

En la región los programas que mayor impacto han tenido en los últimos años son: el Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares PROCEDE; el Programa de Apoyo directo al Campo PROCAMPO; el Programa de Atención a Jornaleros Agrícolas; el Proyecto Estratégico para la seguridad alimentaria-Programa de Atención a Productores de Menores Ingresos PESA-PAPMI, también llamado Guerrero sin Hambre; El programa de Oportunidades; el Programa de 65 y más; la Comisión Nacional Forestal; El Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Forestales PROCYMAF; La Comisión Nacional del Agua CONAGUA a través de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del estado de Guerrero CAPASEG. También han llegado proyectos privados, como uno de siembra de higuera para biocombustible.

El PROCEDE es el que mayor impacto ha provocado en las estructuras organizativas, si bien, este no ha sido inmediato, poco a poco los ejidatarios han hecho valer su nuevo estatus de dueños de sus parcelas, ya sea agrícolas o del porcentaje que les corresponde de las zonas comunes. Bajo el discurso de legalizar y garantizar la propiedad individual como un factor de bienestar familiar, el PROCEDE impulsó la toma de decisiones individuales para el manejo de los recursos frente a las decisiones colectivas. En las comunidades de la microcuenca, cabe destacar que el asambleísmo continúa vigente y en esta institución aún se sigue tomando decisiones sobre el manejo de los recursos naturales colectivos. Sin embargo algunos problemas que comparten las comunidades como la ganadería extensiva, han provocado que se decida hacer valer el PROCEDE y que cada ejidatario se beneficie del terreno que le corresponde. Esto ha llevado a construir otro tipo de acuerdos internos, por ejemplo el intercambio de recursos pastoreo por leña, palma por piedra, o la venta de los mismos. Esta situación deja en clara desventaja a los sin tierra. Estos procesos se han iniciado de manera lenta y con una serie de consecuencias que aún no son visualizadas totalmente en las comunidades.

Los programas asistencialistas que existen no consideran el asambleísmo, se promueven a través de visitas sucesivas de promotores o técnicos externos que convocan a los posibles beneficiarios, hacen un comité que no rinde cuentas a la asamblea y solo pide autorización del comisario, en ocasiones, sin explicar a detalle el programa. Estos fraccionan el frágil tejido comunitario en ocasiones esto conlleva a generar una serie de corruptelas dando como resultado problemas internos entre los pobladores. Además para lograr ser beneficiarios de otros programas, se condiciona estar dentro de un listado específico, por ejemplo Guerrero sin hambre, un programa asistencialista estatal solo se les otorga a aquellas personas que están dentro de la lista de los beneficiados por Oportunidades.

CONAFOR, PROCYMAF, COINBIO, SEMAREN y otras instituciones ofrecen proyectos para la restauración, conservación de los recursos naturales y en especial aquellos con potencial de generación de servicios ambientales. Estos proyectos llegan, generalmente, a los ejidos a través de la promoción directa con las autoridades agrarias. Los comisariados llevan ante la asamblea los proyectos que se pueden gestionar, sin embargo cargados de una fuerte burocracia, es complicado su acceso a ellos además que como condicionante, los ejidos deben estar dentro del PROCEDE de caso contrario no reciben ningún tipo de apoyo. Lo mismo ocurre con el PROCAMPO, los productores agrícolas deben tener sus certificados de propiedad agraria.

### **Agua Compartida para Todos un modelo para fortalecer las instituciones comunitarias.**

El GEA, desde 1994 ha iniciado un largo recorrido de acompañamiento y construcción con comunidades marginadas de la región Centro-Montaña de Guerrero. El proyecto Agua Compartida para Todos ACPT, comienza en 2000 a petición y priorización que las comunidades de las microcuencas Las Joyas y Chilapa-Zitlala realizaron en una serie de talleres de Evaluación Rural Participativa (GEA, 1995; GEA 1996a, GEA1996b; citados en García, 2004). La preocupación manifiesta en las comunidades fue la creciente disminución de agua en las fuentes locales. Por lo que, se tomó como eje articulador al agua. A lo largo del proyecto ACPT se han impulsado la toma de acuerdos y formación de lazos de cooperación-acción intra e inter comunitarios. De manera interna las comunidades han tomado acuerdos para: establecer zonas de reserva dentro de sus montes; el cuidado de las obras realizadas; el aprovechamiento del agua recuperada en los manantiales; acuerdos para el manejo de animales domésticos con el fin de evitar contaminación del agua; la protección de manantiales entre otros. Se han establecido también acuerdos intercomunitarios entre diferentes ejidos y con particulares, desde la toma de acuerdos, la planeación y la ejecución de la obra, se trabaja de manera coordinada entre las partes involucradas. Por ejemplo, en 2003 el ejido de Trapiche Viejo, para mejorar su manantial el Mango, identificó la importancia de tomar acuerdos colaborativos con el ejido de Tlalcomulco. De manera autogestiva la asamblea de Trapiche Viejo decidió que sus autoridades y el comité de agua compartida acordaran ante la asamblea de Tlalcomulco las acciones necesarias para iniciar los trabajos de conservación de suelos y agua necesarios. A 10 años de iniciado el proceso se han realizado más de 15 asambleas y diferentes reuniones y talleres conjuntos, el resultado ha sido, la disminución del proceso erosivo en la microcuenca de nivel 3 denominada Agua escondida (que comparten ambos ejidos), reverdecimiento y recuperación del suelo en la barranca, protección de suelo en parcelas agrícolas, recuperación de vegetación, y el incremento del caudal y temporalidad de agua en la barranca y en el manantial El Mango.

Como éste ejemplo existen otras 15 microcuencas de nivel 3 que involucran a 10 comunidades y propietarios que ha construido acuerdos para el mejoramiento manantiales, escorrentías y otras fuentes de agua. Con acciones que darían resultados a mediano y largo plazo a la fecha, los impactos del trabajo del ACPT en las comunidades han comenzado a ser más evidentes.

No siempre ha sido fácil trabajar con los diferentes actores de la comunidad, por ejemplo los ganaderos, han sido un factor importante para no concretar acuerdos para establecer reforestaciones en parcelas, barrancas, laderas, caminos, ya que se practica la ganadería extensiva, lo que dificulta la sobrevivencia de las especies plantadas. Por otro lado, los intereses políticos han sido determinantes en la continuidad para la realización de algunos trabajos, ya que con la promesa de llevar proyectos a las comunidades se condiciona no solo el voto y sino que influyen a veces negativamente en las decisiones que se toman en las asambleas. El apoyo de otras dependencias y la creación de comités que realizan actividades similares a las de ACPT han generado divisiones y envidias

entre los pobladores, si las obras que se construyen no funcionan hay desánimo para continuar los trabajos que se promueven.

Cuando surgen problemas en las comunidades dentro del proyecto ACPT, se atienden buscando la solución desde la asamblea, con las autoridades, el comité y el equipo técnico de GEA. Para la transparencia de los recursos el proyecto cuenta con carpetas administrativas que son revisados constantemente, esto ha ayudado a transparentar, rendir cuentas y resolver problemas ante las asambleas. Se busca la asesoría de expertos en diferentes temas para la adecuada ejecución del plan de trabajo comunitario. Geólogos, biólogos, geo hidrólogos, agrónomos, entre otros y campesinos locales y de otras regiones han sido asesores del proyecto.

Este recorrido nos ha llevado a impulsar y fortalecer los lazos de cooperación entre las comunidades de la microcuenca Las Joyas, todo el trabajo realizado y la experiencia en el establecimiento de acuerdos intercomunitarios permite ahora plantear una nueva etapa. Por lo que se ha comenzado un proceso organizativo y de reflexión intercomunitario de segundo nivel en las 18 localidades de la microcuenca. Se busca establecer espacios institucionales de toma de decisión para la planeación conjunta de las acciones y definición de políticas regionales que mejoren la situación actual de los recursos naturales y sociales de la cuenca. Con representatividad de todas las comunidades se generarán procesos de discusión y análisis sobre el contexto local y nacional, así como de los diferentes proyectos que desde gobierno se establecen, logrando que haya posturas políticas y decisivas ante diferentes situaciones y acontecimientos.

Se ha iniciado el proceso de acercamiento a las autoridades para realizar la primera reunión de segundo nivel. Existe un fuerte compromiso por parte de las comunidades para garantizar que los recursos naturales se recuperen y mantengan para el bienestar actual y futuro, es por eso que la respuesta hasta el momento ha sido favorable. Las comunidades de las microcuencas están en espera y a la expectativa de los nuevos caminos que se abran en este recorrido.

## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

- Aguilar, J.; Illsley, C.; Gómez, T.; Acosta, J.; Quintanar, E; Tlacotempa, A.; Flores, A.; Mancilla, S. 2001. Normas comunitarias indígenas y campesinas para el acceso y uso de los recursos naturales. Grupo de Estudios Ambientales-SSS SanzekanTinemi, México.
- CONAGUA [en línea]. Sistema de Información Geográfica del Agua. Mapoteca Digital Nacional. Comisión Nacional del Agua CONAGUA. México, D. F. <http://siga.cna.gob.mx/>
- GEA AC, 2011. Informe del proyecto Agua compartida para todos entregado a la fundación Gonzalo Río Arronte.
- Gómez, T.; Illsley C.; Alarcón J.; Díaz, L.; Chana, F.; Morales, P.; García, J.; Salas, R.; Hernández, C.; Aguilar, J. 2008. Agua compartida para todos. Una propuesta metodológica para el manejo comunitario del agua. Colección Experiencias de Manejo Campesino de Recursos Naturales y Sistemas Agroalimentarios Sustentables. Grupo de Estudios Ambientales AC. México D.F.
- INEGI. 2010. XII Censo General de Población y Vivienda. Sistema Contar 2010. Sistema para consulta de tabulados y bases de datos. INEGI. <http://>
- INEGI. 2001a. Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta Edafología, Escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI. Aguascalientes, Ags., México.
- Sánchez Evangelina, 2003. La certificación agraria en la Montaña de Guerrero y las comunidades indígenas. Problemas y perspectivas. Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales, mayo-diciembre, año/vol. XLVI, número 188-189. Universidad Autónoma de México.
- Vargas Ramón, 2012. La cultura del agua. En Cultura del agua en México, conceptualización y vulnerabilidad social. María Perevochtikova Coordinadora.

# TRES CUENCAS, DIECISÉIS HISTORIAS. EXPERIENCIAS DEL GEA EN EL ACOMPAÑAMIENTO A COMUNIDADES PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL AGUA Y LOS RECURSOS NATURALES

Catarina ILLSLEY, Pilar MORALES, Nicasio CORRALES,  
Felipe CHANA, Guadalupe HERNÁNDEZ, Emilia POOL

Grupo de Estudios Ambientales y Sociales, AC. Allende 7, Santa Úrsula Coapa, 04650 México, D.F.  
Teléfono (01 55) 56 17 90 27, correo electrónico [catillsley@gmail.com](mailto:catillsley@gmail.com)

## RESUMEN

A lo largo de más de 15 años, el GEA<sup>1</sup> ha acompañado a comunidades de la región Centro-Montaña de Guerrero en procesos de planeación e implementación de acciones para mejorar el uso y manejo de sus recursos naturales y sus territorios a partir del aprovechamiento del agua con una visión de cuenca. En este lapso hemos establecido contacto con 43 ejidos y comunidades, aunque sólo con 16 se ha logrado emprender procesos colectivos de mediano o largo plazo, cada uno diferente. Se reflexiona sobre los factores comunitarios (estado de los recursos, tenencia de la tierra, distancia a Chilapa, liderazgos, nivel organizativo, instituciones locales, acuerdos intra e intercomunitarios, falta de empleos locales, entre otros) y los factores del equipo técnico (claridad, generación de confianza, respeto a instituciones locales, diálogo de saberes, flexibilidad, apertura a todos los sectores locales, evaluación y planeación periódicas, etcétera) que ayudan a explicar por qué con algunas comunidades se logran procesos de largo plazo. Se narra brevemente la historia de estos procesos y se señalan sus impactos. Se concluye que si bien hay lineamientos metodológicos generales, no hay recetas para el manejo sustentable de cuencas, cada comunidad contará su propia historia.

**Palabras clave:** manejo de cuencas, microcuencas, gobernanza, participación comunitaria.

## 1 ANTECEDENTES

### 1.1 EL PROYECTO REGIONAL

En las regiones Centro y La Montaña de Guerrero, en la cuenca del Balsas (figura 1), a partir de 1993 el GEA y cada vez más comunidades vienen implementando un modelo de acción de largo plazo para avanzar hacia la restauración y el aprovechamiento duradero de la base material de la vida rural, el Proyecto Regional de Manejo Campesino Sustentable de Recursos Naturales y Sistemas Alimentarios.

Estas comunidades son muy marginadas y de población de origen nahua. Si bien los recursos naturales posibilitan la sobrevivencia (leña, medicinas, materiales de construcción, alimento y bebida, forrajes...), ninguno tiene alto valor económico. Los más importantes, el maguey y la palma, generan ingresos anuales de 1,000 a 5,000 pesos por familia. Las familias sobreviven mediante estrategias de manejo simultáneo y diversificado de sus recursos. La agricultura de milpa sigue siendo la base alimenticia de muchos, y los ingresos económicos provienen de las remesas de los migrantes, los programas asistenciales del gobierno y el empleo regional.

---

<sup>1</sup> El Grupo de Estudios Ambientales, AC, y el Grupo de Estudios Ambientales y Sociales, AC, son reconocidos en conjunto con las siglas GEA.



En este marco, el proyecto busca concretar sus objetivos generales: fortalecer las capacidades de familias, comunidades y organizaciones para que afirmen el control de sus territorios y recursos naturales y tomen mejores y más informadas decisiones sobre su manejo; promover procesos que garanticen agua y alimentos buenos, suficientes y para siempre, esto es, impulsar la soberanía alimentaria e hídrica en las comunidades, las cuencas y la región; e identificar y consolidar recursos y prácticas relevantes para incrementar la resiliencia y la adaptación comunitaria y regional a los cambios ambientales y sociales de nuestros tiempos.



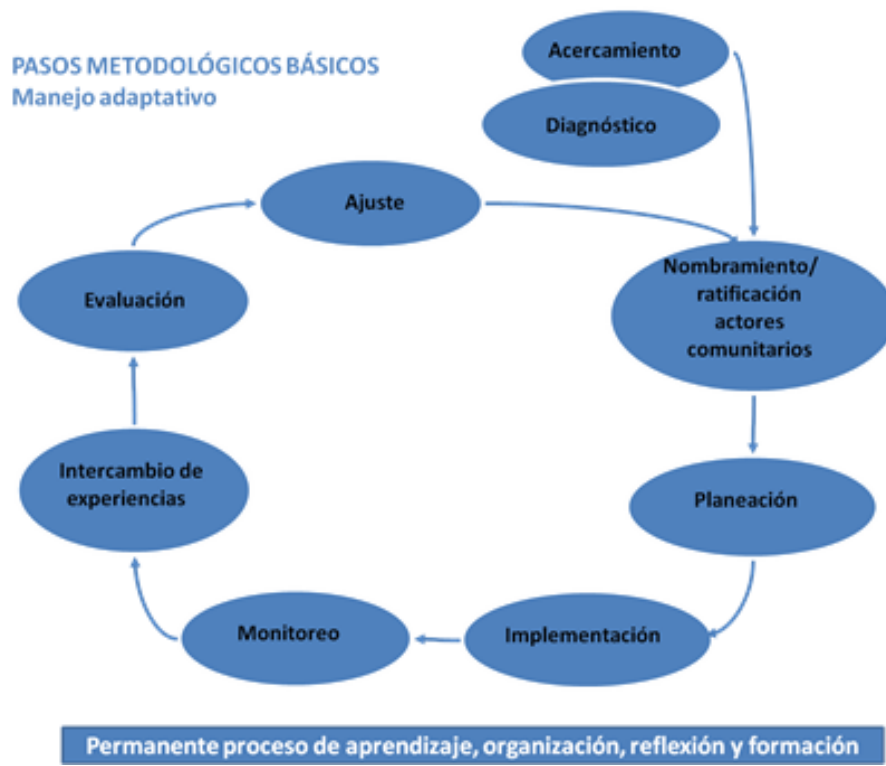
Figura 1. Ubicación de las cuencas de trabajo pertenecientes a la gran cuenca del Balsas.

## 1.2 LA METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Empezamos por reconocer los muy diversos usos que las familias y las comunidades dan a sus territorios, así como las instituciones y las normas locales que regulan el acceso y la utilización de los bienes comunes. Asumimos que la unidad básica de trabajo es la comunidad, considerada como un sistema socioambiental complejo, *sensu* Ostrom (2009). Como entendemos que toda comunidad está integrada por subsistemas de manejo hidroagroecológico, en el proyecto abrimos líneas de trabajo que corresponden a los subsistemas

principales: Coatl, agua; Tepec, monte y biodiversidad; Tlalli, agricultura campesina; Wakax, ganado; y Chantli, casas y solares. Dos líneas abarcan varios subsistemas: Atzintli, agua y saneamiento en escuelas, y Educación, arte e identidad. Tres líneas son transversales: Instituciones y normas comunitarias, Cartografía y sistemas de información geográfica y Género. La línea que busca integrarlas todas es Ordenamiento territorial comunitario.

Cada línea busca desencadenar y sostener acciones colectivas con arreglo a pasos metodológicos básicos (figura 2), los que adapta a las particularidades de los recursos, los actores sociales y los niveles de toma de decisiones con los que trabaja. El equipo técnico está formado por profesionistas de diferentes disciplinas (agroecología, agronomía, biología, geología, geohidrología, antropología, ingeniería civil, arquitectura) y un nutrido grupo de promotores y promotoras campesinos. Se busca que todas las acciones estén articuladas por los planes comunitarios de manejo de microcuenca. Los programas del GEA participantes en el proyecto son Manejo Campesino de Recursos Naturales (Macarena), Sistemas Alimentarios Sustentables (SAS) y GEAVIDEO.



**Figura 2.** Pasos metodológicos básicos del Proyecto Regional.

Dado que las cuencas son unidades ambientales esenciales en la planeación y que la toma de decisiones se da principalmente en las comunidades, unidades sociales, vimos necesario acercar los límites de unas y otras. Establecimos una clasificación de cuencas a partir de las denominadas por la Conagua como tributarias: a éstas las identificamos como microcuencas de nivel 1 y las subdividimos en microcuencas de nivel 2, las que a su vez consideramos formadas por microcuencas de nivel 3. Una comunidad puede contener en su territorio de una a tres microcuencas de nivel 3, y compartir una o varias de ellas con comunidades vecinas, mientras que una microcuenca de nivel 2 puede abarcar de uno a cuatro territorios comunitarios. La planeación y la operación del

proyecto parten de las microcuencas de nivel 3, de manera conjunta con las instituciones locales (asamblea, autoridades, comités) y considerando de cada cuenca sus características, problemas y potenciales. Cuando una microcuenca de nivel 2 o nivel 3 es compartida por dos o más comunidades, las instituciones de éstas se reúnen para acordar y trabajar en procesos intercomunitarios, también contruidos de abajo arriba.

## 2 LA INTERACCIÓN CON LAS COMUNIDADES

En 1994 empezamos a trabajar con tres comunidades, y a lo largo de los años hemos realizado algún tipo de actividad con 43, de tres microcuencas de nivel 1, dos de la cuenca del Balsas, Las Joyas (municipios de Ahuacuotzingo y Atlixnac) y Chilapa-Zitlala (Chilapa y Zitlala), y una de la cuenca del Papagayo, Limontitlán (municipio de Chilapa). De las 43 comunidades, con 14 se realizaron actividades puntuales, como talleres o pequeñas obras; con otras 12 se vivieron procesos que no rebasaron los dos años, generalmente porque así fue el planteamiento. En algunos casos hubo distanciamiento debido a conflictos internos, cambio de autoridades, migración del líder, etcétera.

### 2.1 LAS 16 HISTORIAS... Y UNA DE PILÓN

En el equipo técnico identificamos los factores de las comunidades y del GEA que han permitido el desarrollo de colaboraciones a largo plazo, inspirados en lecturas de Ostrom (2009) sobre los elementos que intervienen en la promoción de la acción colectiva. Así sistematizamos la historia de las comunidades, sintetizada en la tabla 1.

**Tabla 1.** Actores, elementos e historias de las comunidades con procesos de largo plazo.

Comunidad, municipio	Actores relevantes	Elementos clave	Historia
Tenexatlajco, Chilapa	Director y alumnos de la telesecundaria	Desnutrición de los alumnos	Las primeras actividades fueron la reforestación y los baños secos. Un taller de nutrición llevó a detectar síntomas de avitaminosis en los estudiantes y a calcular el dinero gastado en comida chatarra y refrescos. Se decidió implementar la olla escolar: con 10 pesos diarios los chicos recibieron una comida sana al día, elaborada con productos locales. En seis meses los síntomas habían desaparecido. Eso los animó a sembrar hortalizas y a construir baños secos, un sistema de captación de lluvia y una estufa ahorradora de leña.
Tepozcuautila, Chilapa	Grupo de mujeres	Baja producción de alimentos	A partir de un taller de abonos orgánicos se formó un grupo de animadores agroecológicos. Pronto sobresalieron las mujeres, que se involucraron en más actividades. Cuando se formó el Comité de Agua, se nombró a una mujer como presidenta. Se han realizado numerosas obras que han llevado a retener suelos y agua, se han sembrado verduras...
El Peral, Chilapa	Tres promotores ambientales	Deforestación severa, escasez de agua	Tres campesinos, que creen profundamente en el valor de proteger su microcuenca para tener más agua y conservar los suelos, han trabajado incansablemente en la reforestación y la retención de suelo y agua, al principio sin apoyo de sus vecinos, hasta obtener resultados que han obligado a cambiar los acuerdos comunitarios.
Santa Cruz, Chilapa	Director y alumnos de telesecundaria	Falta de instalaciones sanitarias en la	El director ha consolidado el manejo del agua. En la construcción de las instalaciones sanitarias han participado y se han sensibilizado padres y madres de familia que luego han replicado en sus casas

		escuela	algunas de las ecotecnias.
Mazapa, Ahuacuotzingo	Comunidad organizada	Disminución de caudales en los manantiales y falta de agua para el ganado	Por su sólida organización han logrado la continuidad en los Comités de Agua y han incrementado el gasto de sus manantiales, revertido la erosión, acumulado arena y lama en las barrancas y recuperado variedades de maíz criollo. A raíz de todo ello han modificado sus acuerdos en torno al manejo del ganado, la leña, la palma y el maguey.
El Jagüey, Chilapa	Autoridades agrarias y civiles; comités de agua, reforestación y padres de familia; animadores agroecológicos; colectivos de mujeres; maestros; y estudiantes	Baja producción de alimentos, plagas y uso ineficiente del agua	El Jagüey es cabecera de cuenca, pero su territorio es pequeño y su población numerosa. Las condiciones de vida son muy adversas pero la organización es sólida. Empezando por la producción ecológica de alimentos y la atención a los problemas del agua, el grupo de actores ha ido creciendo para desarrollar actividades en parcelas de temporal y riego, canales de riego, barrancas, manantiales, patios, hogares, escuelas y espacios públicos. Han trabajado fuerte en torno a plagas del maíz y al conocimiento local del clima. La comunidad se ha convertido en una escuela de saberes campesinos y va animando a las vecinas a integrar planes de manejo intercomunitarios.
Oxtoyahualco, Ahuacuotzingo	Comités de agua, autoridades, líderes, grupos	Disminución de los caudales de los manantiales, contaminación del agua por excremento de ganado	Las autoridades, buscando resolver la escasez de agua, decretaron un área de reserva en terrenos de dueños, quienes establecieron una demanda legal. Tras años, el interés común al fin se sobrepuso a los intereses particulares. La motivación de un grupo y de las autoridades ha llevado a construir un gran número de obras de conservación de agua y suelo, aun sin apoyo. Han recuperado manantiales y hecho aparecer nuevos. Están cambiando sus acuerdos, enfocados en la escasez, a la regulación de los nuevos usos que el contar con más agua les permite.
Agua Zarca, Ahuacuotzingo	La comunidad organizada según sus usos y costumbres	Falta de agua e instalaciones sanitarias en las escuelas	Basados en su gran nivel de organización, han realizado colectivamente muchos trabajos para mejorar el abasto de agua en la comunidad, el albergue, el jardín de niños y la primaria.
Ahuihuiyuco, Chilapa	Grupo de animadores agroecológicos, Comité de Agua	Bajo rendimiento y altos costos de producción del maíz	Por la preponderancia de la propiedad privada, el grupo de animadores agroecológicos tuvo problemas para que su trabajo se implementara en el nivel comunitario, más allá de las parcelas. En cambio, el Comité de agua lo logró: el agua resultó buen articulador de la población.
Trapiche Viejo, Ahuacuotzingo	Autoridades, Comités de Agua	Reducción del gasto en manantiales, deforestación, erosión de suelos agrícolas	Las numerosas obras levantadas en barrancas han elevado el caudal de los manantiales. Han establecido acuerdos con comunidades vecinas para trabajar las barrancas completas y beneficiarse todos. Los niños han participado en reforestaciones. Un grupo de agricultores está avanzando en sistemas agroecológicos que han mejorado la calidad de las cosechas y controlado la erosión de los terrenos de cultivo.
Xocoyolintla, Ahuacuotzingo	Comunidad organizada, grupos de mujeres, Comités de agua, niños y niñas de la escuela primaria	Mala calidad del agua, baja producción de alimentos, interés de los niños en las actividades de	Los Comités de Agua, tras proteger barrancas y manantiales, se involucraron en otros proyectos para manejar otros recursos naturales y los sistemas alimentarios; destaca la restauración y estabilización de una barranca compartida con Oxtoyahualco. La brigada infantil Los Xocoyoles ha llevado a los niños y niñas a conocer y valorar su territorio, sus recursos naturales y los trabajos realizados por los adultos para su restauración, las alternativas técnicas aplicadas en las casas y los huertos, el germoplasma nativo

		educación ambiental	y las plagas locales. También elaboran abonos e insecticidas naturales, recolectan y siembran semillas de árboles y escuchan la historia de su comunidad de boca de los abuelos.
Tlalcomulco, Ahuacuotzingo	Comunidad organizada	Pérdida de fertilidad en parcelas, interés de trabajar barrancas completas y de arriba abajo	De manera colectiva han levantado más de 10 km de tecorrales (terrazas), aportando más en material y mano de obra que lo entregado por el proyecto, y han construido cientos de represas de piedra acomodada en las barrancas. Para restaurar la barranca completa establecieron acuerdos con comunidades vecinas; cuando éstas no han podido colaborar, han conseguido permiso para incursionar en el territorio vecino y realizar las obras, por el bien común.
Acateyahualco, Ahuacuotzingo	Grupo de monitoreo participativo	Denuncia por falta de permiso legal para la extracción de maguey	Es una comunidad con un bosque de encino conservado y una organización antigua para el aprovechamiento equitativo del maguey. Como resultado de la demanda, se acordó diseñar y aplicar un plan de manejo sustentable de maguey silvestre. Todos los ejidatarios ahora saben monitorearlo y se han convertido en maestros de otras comunidades
Topiltepec, Chilapa	Comités de palma, reforestación y agua; experimentadores campesinos	Escasez de hojas de palma de la longitud apropiada para las artesanías y disminución del caudal de los manantiales	La larga trayectoria de trabajo con Topiltepec ha abarcado muchos de sus recursos naturales. Se han implementado un plan de manejo de palma, una reserva forestal y varias reforestaciones; se ha rescatado el conocimiento local sobre especies nativas; se han efectuado estudios sobre el maguey; se han protegido manantiales... Ha recibido a numerosos grupos de campesinos y estudiantes del país y el extranjero. La mayor parte del trabajo se ha debido a la motivación e interés de tres personas, y la división interna de la comunidad ha dificultado el avance de los trabajos.
La Candelaria, Chilapa	Comités de Agua, conformados mayoritariamente por mujeres	Bajo caudal de los manantiales	Es una nueva colonia de Chilapa, integrada por migrantes de muchas partes de Guerrero y ubicada sobre un antiguo basurero. Las mujeres se echaron a cuestras las tareas para realizar las obras que garanticen el agua para todos.
La Esperanza, Mártir de Cuilapan	Artesanos de palma, autoridades, Comités de Reforestación	Reducción en el abasto de palma y maguey y escasez de agua	El GEA tuvo una larga colaboración con la comunidad a través de la investigación participativa sobre palma y maguey y el manejo de agua y suelos. Se logró la mejora de acuerdos comunitarios para la extracción y el manejo del maguey. Un cambio de autoridades dio el poder a un grupo desinteresado en la colaboración y ésta quedó cortada.
Tepoztlán, Ahuacuotzingo	Éste es el principio de una nueva historia...	Sorpresa por el incremento del caudal de sus manantiales	Es una comunidad ubicada cuenca abajo de un grupo de comunidades que lleva años protegiendo sus barrancas y manantiales. Se dieron cuenta de que tenían más agua que antes, y no se explicaban la razón. Al entender que se debía al trabajo de sus vecinos cuenca arriba, solicitaron incorporarse al proyecto.

## 2.2 FACTORES DEL EQUIPO TÉCNICO QUE FAVORECEN PROCESOS DE LARGO PLAZO

### 2.2.1 Presentar ideas claras

Nos hemos reconocido como un actor más en la región, con intereses y objetivos específicos que explicitamos. Y entendemos que las comunidades están integradas por grupos con diferentes intereses. Cuando los objetivos e intereses de un grupo comunitario coinciden con los del GEA, hay más probabilidades de que se impulse un

proceso de mediano o largo plazo. Fuimos expulsados de una comunidad con altos niveles de organización y cuidado de sus recursos porque no coincidió su proyecto con lo que logramos transmitir como el nuestro.

### **2.2.2 Construir confianza**

La confianza surge mediante el respeto, la presencia continua y el seguimiento; al ofrecer y pedir puntualidad, al no generar falsas expectativas sino sólo plantear lo que se sabe que se podrá realizar, al escuchar y entender lo que dice el otro; con la transparencia en el manejo de los fondos, la disposición al diálogo y la convivencia más allá del trabajo; al no prestarse a corrupción de ningún tipo. La confianza es quizá el factor más importante en la interrelación equipo-comunidades.

### **2.2.3 Trabajar en acuerdo con las instituciones comunitarias**

Antes de iniciar el trabajo con una comunidad procuramos entender cómo está organizada y normada, y al sugerir cada acción buscamos planearla y ejecutarla con la instancia local correspondiente, siempre dando cuenta a las autoridades y la asamblea de la comunidad.

### **2.2.4. Llevar cuentas claras**

Nunca nos hemos alejado de una comunidad por el manejo de los presupuestos. Por supuesto, han surgido conflictos y algunos sectores locales han expresado desconfianza o acusado un mal uso de fondos. En todos los casos, el sistema de administración aplicado por el proyecto (carpetas llevadas por los Comités, de la cuales tenemos copias exactas, y rendición sistemática de cuentas a la asamblea) ha logrado, hasta ahora, que estas diferencias se hayan resuelto favorablemente.

### **2.2.5 Mantener constante diálogo de saberes**

Procuramos “No pensar que lo sabemos todo, pero tampoco que la gente de las comunidades lo sabe todo; vamos aprendiendo juntos”. La confianza permite que nos digamos “No te entiendo” y que nos tomemos el tiempo necesario para explicarnos. Promovemos la capacitación y la evaluación en comunidades de aprendizaje: de campesino a campesino, de técnicos a campesinos a técnicos, de ancianos a niños y jóvenes, de jóvenes a jóvenes... Generamos información para la acción mediante la investigación participativa. Una constante preocupación ha sido la profesionalización del equipo técnico, necesaria para tener los elementos críticos para entender y validar las prácticas y los saberes campesinos así como para explicar los saberes científicos.

### **2.2.6 Mostrar flexibilidad**

La flexibilidad se necesita sobre todo para entender el proyecto comunitario o del grupo, acompañarlo, apoyarlo con conocimientos y recursos económicos cuando sea necesario, sin imponer nada. Si se encuentra un proyecto ya encaminado, como la olla escolar, se le acompaña. La decisión de dónde y qué instalaciones sanitarias se construyen en las escuelas se toma de manera colectiva, después de que padres y madres de familia, maestros y niños realizan los ejercicios de “Sueño de escuela”.

### **2.2.7 Contar con financiamiento seguro a mediano o largo plazo**

Los fondos multianuales nos permiten planear por lo menos para un año, cumplir con los tiempos establecidos, vincular las tareas educativas a la construcción de obras, realizar evaluaciones e intercambios de experiencias,

etcétera. Son una base para obtener credibilidad y confianza. Es indispensable mantener un equilibrio entre el margen de acción que brindan y el control y la burocracia que demandan.

### **2.2.8 Mantener espacios para la planeación, la evaluación y el intercambio entre las líneas del proyecto**

Intentamos contar con una visión y metodología general, así como con metodologías específicas por línea; mantener claro el rumbo común y recordar los objetivos; rectificar el camino; reflexionar y aprender sobre el contexto amplio. También buscamos coordinarnos en el día a día en el aprovechamiento de los materiales y recursos. Sin espacios de comunicación y reflexión colectiva las líneas toman caminos alejados de los objetivos, persisten dudas y malentendidos, no se ajustan reglas de convivencia y de uso de materiales...

### **2.2.9 Trabajar con todos los sectores locales mediante actividades muy diversas**

Es común que los trabajos y sus motivaciones sólo sean bien conocidos por los directamente involucrados: las autoridades, los comités y las personas que los realizan. Llevar a cabo actividades que involucren al resto de la comunidad en escuelas, festivales, reuniones formales o informales, atención a visitantes, etcétera, ayuda mucho a comunicar más ampliamente el mensaje del proyecto. Distribuir y proyectar videos, realizar programas de radio y representar sencillas obras de teatro también provoca reflexiones sobre los recursos locales y su valoración, propicia el intercambio de experiencias y consolida la presencia del equipo técnico.

## **2.3 FACTORES DE LAS COMUNIDADES QUE FAVORECEN PROCESOS DE LARGO PLAZO**

En nuestras reflexiones sobre los factores comunitarios que han propiciado los procesos de largo plazo consideramos las condiciones sociales locales, resumidas en la tabla 2.

### **2.3.1 Recurso detonante**

Dado que el agua fue el recurso priorizado en los diagnósticos participativos del arranque del proyecto y que por sus características es articulador del territorio y la sociedad, esperábamos que propiciara la participación comunitaria. Así sucedió en muchos casos, pero en otros fue hasta que se atendió otro recurso, de mayor interés para la población, que se detonó el proceso de largo plazo. Acateyahualco tenía un problema legal por falta de permisos para extraer maguey, por lo que se elaboró y aplicó un plan de manejo para la extracción sustentable de magueyes silvestres. Los ejidatarios se volvieron expertos en el monitoreo participativo y han capacitado a decenas de campesinos de la región y de otros estados. En Tenexatlajco la desnutrición desencadenó la olla escolar. En fin, la colaboración ha sido más exitosa, sostenida y relevante cuando atañe a un recurso, y a una parte de la cadena de uso del recurso, de importancia para sus dueños legítimos.

### **2.3.2 Estado de los recursos naturales**

Existen, una al lado de la otra, comunidades con las mismas condiciones ambientales y extensiones similares pero con recursos en estado contrastante. Observamos que tiende a darse una relación entre la calidad y la cantidad de recursos disponibles y la densidad de población. Trabajamos con comunidades cuya presión sobre los recursos es muy fuerte y con otras de abundantes y buenos recursos. El Jagüey, sin bosques y con problemas de deslizamientos y de saneamiento, ha desenvuelto un enorme proceso organizativo que ahora está sumando a cinco comunidades para planear en un nivel de cuenca mayor. Acateyahualco, con abundancia de recursos, es otro ejemplo de organización y capacidad de acción para el bien colectivo, y también aglutina a otras

localidades. En las comunidades de recursos deteriorados hemos obtenido con mayor dificultad resultados alentadores y rápidos.

**Tabla 2.** Algunas características sociales de las comunidades con procesos de largo plazo.

Comunidad, municipio	Grado de marginalidad	Población total 2010	Superficie (ha)	Densidad demográfica 2010 (hab/km <sup>2</sup> )	Distancia a Chilapa (km)
Tenexatlajco, Chilapa	Muy alto	303	132	230	13.5
Tepozcuautila, Chilapa	Alto	1 254	210	597	8.96
El Peral, Chilapa	Muy alto	294	262	112	12.05
Santa Cruz, Chilapa	Muy alto	603	473	127	12.88
Mazapa, Ahuacuotzingo	Alto	122	501	24	26.65
El Jagüey, Chilapa	Muy alto	2 384	538	443	14.3
Oxtoyahualco, Ahuacuotzingo	Muy alto	689	559	123	36.27
Agua Zarca, Ahuacuotzingo	Muy alto	437	628	70	31.72
Ahuihuiyuco, Chilapa	Muy alto	1 320	720	183	8.5
Trapiche Viejo, Ahuacuotzingo	Alto	463	947	49	29.15
Xocoyolzintla, Ahuacuotzingo	Alto	1 320	1 207	109	34.11
Tlalcomulco, Ahuacuotzingo	Muy alto	650	1 235	53	25.45
Acateyahualco, Ahuacuotzingo	Alto	232	1 538	15	32.8
Topiltepec, Chilapa	Alto	2 496	1 566	159	10.48
La Candelaria, Chilapa	Alto	400	-	-	0
La Esperanza, Mártir de Cuilapan	Muy alto	2 311	3 000	77	55

Fuente: INEGI, 2005.

### 2.3.3 Tenencia de la tierra

La tenencia de la tierra en la región es un mosaico de propiedad social y privada. De las 16 comunidades con procesos de largo plazo, 11 son ejidos, una es de bienes comunales indígenas, dos tienen exclusivamente propiedad privada y dos combinan ejido con propiedad privada. Los procesos de largo plazo han sido más factibles en comunidades con propiedad social que con propiedad privada porque la organización de ejidos y comunidades permite fijar normas e imponer sanciones, mientras que en la propiedad privada generalmente no hay forma institucionalizada de hacerlas cumplir y en ocasiones ni siquiera de establecerlas, y porque nuestra metodología está pensada para ejidos y comunidades. En algunas localidades de propiedad privada han adaptado la metodología del proyecto a sus condiciones. Así, en Ahuihuiyuco se tomaron acuerdos con cada uno de los



propietarios para conciliar sus intereses. El éxito de tal gestión y el nivel de organización local han llevado a lograr beneficios colectivos, como la protección de importantes zonas erosionadas.

### **2.3.4 Relación con Chilapa y emigración**

Chilapa es el centro económico, político y de servicios de la región. La mayoría de las comunidades con procesos de largo plazo se encuentra alejada de ella al menos a 30 minutos en transporte público. Hemos tenido poco contacto con las comunidades cercanas a la ciudad, y casi nunca ha pasado de una acción muy puntual. Las comunidades más alejadas tienden a contar con una organización más sólida y con más acuerdos y sanciones para el cuidado de los recursos naturales y sus tierras de cultivo. Al parecer, para los habitantes de comunidades cercanas a Chilapa es más fácil transportarse y trabajar ahí, por lo que satisfacen sus necesidades con el dinero que allí ganan; como dependen menos de los recursos locales, los cuidan menos. El grado de conservación de los recursos naturales en las comunidades cercanas a Chilapa es menor con respecto a las más alejadas. Los montes por los que pasan las carreteras conectadas con la ciudad sufren más deforestación y saqueo. Entre todos los factores que han generado la pérdida de los recursos naturales en la región, la cercanía a Chilapa parece ser uno de los más importantes.

La migración en las comunidades más cercanas a Chilapa también difiere de la que se da en aquellas más alejadas: hombres y mujeres van a esa ciudad en busca de trabajo, y poco a poco se quedan, por lo que abandonan tierras y casas en su pueblo, o las usan solamente los fines de semana, cuando atienden las labores de cultivo. En meses de poca actividad agrícola, familias enteras de comunidades más alejadas de la ciudad se van a Sinaloa, Tierra Caliente, Nayarit y Michoacán, y luego regresan.

### **2.3.5 Liderazgos**

El GEA es invitado a colaborar generalmente por un líder, ya sea una autoridad, un ciudadano interesado o el representante de un grupo. La continuidad se da cuando el liderazgo pasa a la nueva autoridad sin conflicto y con compromiso y legitimidad. Cuando el liderazgo se cae o hay conflictos entre líderes, los procesos se interrumpen o disminuyen en intensidad. En Oxtoyahualco se han sucedido ocho Comités de Agua sin interrupciones y con una transmisión de información eficaz, mientras que hemos perdido el contacto con varias comunidades por la discontinuidad en los Comités. La decisión de nombrar y cambiar Comités es atribución comunitaria; el GEA no opina ni participa en ella.

Algunos tardan en ganar su lugar como líderes. En El Peral tres campesinos han impulsado la reforestación y la conservación de suelos; incluso compraron tierras para reforestarlas, sin obtener ellos nada a cambio. Su labor ya tiene impactos en la microcuenca local y han pasado de ser “locos” a personas “un poco más respetadas”. El líder también puede ser un agente externo, sobre todo cuando las instituciones locales son débiles. En Tenexatlajco, el director de la telesecundaria ha involucrado a los estudiantes y a sus padres en la mejoría de la alimentación de los niños mediante la Olla Escolar, con la que se expulsó la comida chatarra y se dispuso de comida saludable con productos locales frescos, preparada por las madres de familia; también han trabajado en conservación de agua e instalación de ecotecnias en la escuela.

### **2.3.6 Nivel de organización y ausencia de conflictos graves**

En la asamblea comunitaria se legitima el trabajo realizado con GEA, se planea, se priorizan obras, se deciden los acuerdos con comunidades vecinas. Los Comités de Agua se han legitimado mediante la rendición de cuentas y la entrega de las obras a la asamblea. En comunidades con conflictos que no pueden ser manejados por la asamblea, no hemos podido mantener colaboraciones de largo plazo. Hay localidades en las que la participación de las mujeres en las asambleas se reduce a dar su voto, pero en Topiltepec, Trapiche Viejo, El Jagüey y

Xocoyolintla dan su opinión y discuten las cuestiones comunitarias. En Tepozcuautila y La Candelaria han sido sobre todo mujeres las impulsoras del trabajo; allí han sido incluso presidentas de los Comités de Agua.

### **2.3.7 Normas y acuerdos intra e intercomunitarios**

Cuando como resultado del trabajo con GEA, en una asamblea comunitaria se cambia un acuerdo o se establece uno nuevo para beneficio de los recursos naturales, juzgamos que hemos logrado un cambio institucional que trasciende la construcción de las obras y los beneficios ambientales que éstas conllevan. En Oxtoyahualco, La Esperanza, Agua Zarca y El Jagüey se han dado estos cambios. En Oxtoyahualco se ha pasado de la apremiante escasez de agua a la actual discusión para cambiar los acuerdos de esos tiempos, aún vigentes, a fin de administrar su recién recuperada “abundancia” sin permitir el desperdicio.

En Acateyahualco, Totolintla y Tlalcomulco cuentan con suficiente agua en sus territorios, por lo que la comparten con Trapiche Viejo, Mazapa y Agua Zarca mediante acuerdos intercomunitarios. Éstos se llevan a cabo entre las autoridades y con el compromiso de los beneficiarios de asistir a las fiestas en los manantiales en cuestión los días 1º, 2 o 3 de mayo y de cuidarlos. Es decir, las relaciones tradicionales entre comunidades han posibilitado establecer acuerdos, en el marco del proyecto, para cuidar microcuencas compartidas por dos o más de ellas. Las comunidades participantes reconocen que, para lograr la conservación y la recuperación de sus recursos, han de fortalecer los procesos democráticos internos y con las comunidades colindantes.

### **2.3.8 Instituciones y autonomía locales**

Las instituciones locales por lo común son determinantes para la acción colectiva. En el terreno jurídico, se trata de las autoridades ejidales, comunales y municipales, mientras que por usos y costumbres son los cargos. También existen los comités, integrados por personas nombradas en asamblea y que brindan servicios específicos. La pertenencia a los Comités de Agua promovidos por el proyecto es ya un mérito que cuenta en el sistema escalafonario de cargos en algunas comunidades. La continuidad de las relaciones entre el GEA y las comunidades descansa en gran parte en el buen funcionamiento de los Comités de Agua, en su correcta relación con las autoridades locales, en su capacidad de brindar información y cuentas claras a la asamblea y en su habilidad para transmitir conocimientos y motivación a los Comités que los suceden.

La autonomía de cada ejido y comunidad indígena, determinada por las instituciones locales, suele ser relevante para desatar y consolidar los procesos de conservación de los recursos en colaboraciones de largo plazo. En Acateyahualco, los límites a la autonomía interna impuestos por el marco jurídico nacional desencadenaron una relación a largo plazo debido a su necesidad de contar con un permiso legal para extraer magueyes. Un campesino, aunque sea dueño legítimo del recurso y posea todos los conocimientos técnicos para operar un plan de manejo, legalmente no puede firmar los permisos, pues ésta es una atribución de los profesionistas registrados en el padrón de la Secretaría de Medio Ambiente.

### **2.3.9 La falta de empleos locales**

El dinero que llega a las comunidades por el proyecto, aunque se traduce en pagos inferiores a los jornales de la región, resulta atractivo porque es una de las pocas fuentes locales de ingreso. Algunos campesinos han admitido que esto les indujo a buscar al GEA. Como con el tiempo encontraron de utilidad los conocimientos que adquirirían, además de que aprender cosas nuevas les daba satisfacción y crecimiento personal, han continuado, aun cuando han tenido mejores opciones de ingreso y a pesar de que a veces les implica aportar trabajo voluntario. La relación entre la inversión de las comunidades y la del proyecto muestra que el interés económico

no es el factor central de la participación: en Tlalcomulco, Oxtoyahualco, Agua Zarca, Xocoyolzintla y El Jagüey los aportes comunitarios de materia prima y mano de obra han sido mayores a los fondos provistos por el GEA. Hay cantidad de obras que se levantaron sin ningún apoyo; los trabajos de Tlalli y la mayoría de los de Chantli no son remunerados, ni los cursos y talleres del proyecto entero; la mano de obra para construir las instalaciones sanitarias promovidas por Atzintli es aportada por los padres de familia...

### **3 ALGUNOS APRENDIZAJES**

Las comunidades rurales son sistemas socioambientales complejos. Para contribuir a su conservación, restauración y revaloración, así como a la de cada uno de sus subsistemas, es necesario generar una metodología equiparable, es decir, que permita abordajes desde diferentes escalas y niveles con un enfoque de manejo adaptativo. Esto requiere de un equipo multidisciplinario con habilidades en lo técnico y lo académico, así como en las metodologías participativas y las relaciones humanas.

La acción colectiva en una comunidad se desencadena con o sin la intervención de un agente externo. La colaboración depende de múltiples factores, tanto del grupo externo como de la comunidad, de modo que lo que funciona en una puede ser negativo en otra. La historia, los recursos naturales, los acuerdos y las instituciones varían de una comunidad a otra. Como siempre hay excepciones y arreglos muy específicos, se debe avanzar caso por caso. En suma, no hay recetas: cada comunidad y cada grupo externo escribirán su propia historia.

### **AGRADECIMIENTOS**

Las historias fueron recopiladas por Pilar Morales, Raquel Varela, Nelly Libeyre, Bibiana Royero, Javier Alarcón, Pío Chávez, Saraí Salazar, Rita L. Salas, Rafael Organista, Lucio Díaz, Nicasio Corrales, Rubén Sánchez, Felipe Chana, Guadalupe Hernández, Yoalli Reyes, Álvaro Flores, Cristina Rendón, Mireya Villegas, Santiago Villanueva y Verónica Ferreyra, todos ellos del GEA.

El trabajo del GEA en Guerrero se ha realizado primordialmente gracias al generoso auspicio de la Fundación Gonzalo Río Arronte, IAP.

### **REFERENCIAS**

Ostrom, Elinor, *et al.*, 2009. A General Framework for Analyzing Social-Ecological Systems. *Science* 325 (5939): 419-422.

Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, 2005.

# EL CONSEJO DE CUENCA LERMA CHAPALA, UN ANALISIS DE LA PARTICIPACIÓN DE LOS GRUPOS DE INTERES EN LA TOMA DE DECISIONES

Julieta Aideé DÍAZ ROSILLO

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, UAQ, [juliaidee@gmail.com](mailto:juliaidee@gmail.com)

## RESUMEN

En toda gestión del agua existen intereses y grados de involucramiento, por lo que es necesario definir quiénes, para qué y cómo participan los diferentes sectores de usuarios e interesados en los asuntos del agua (Chávez, 2004). Se toma el Consejo de Cuenca porque estos organismos están diseñados para ser espacios donde se tomen decisiones y surjan nuevos actores que no pertenecen a instituciones gubernamentales en estos procesos de gobierno y así se propicie un cambio en el balance del poder público-privado (Pacheco et. al., 2008).

En muchas ocasiones, la toma de decisiones es dirigida por una élite de grupos de interés dentro del organismo, que en este caso es el consejo de cuenca. Por lo que la presente investigación pretende realizar un análisis de estos grupos que tienen el poder de decisión sobre el recurso del agua dentro de la cuenca Lerma Chapala y así poder determinar en qué medida impactan positivamente a la estructura y función de la cuenca o si por el contrario, solamente han venido beneficiando cierta área de interés de estos actores. Para esto es necesario también saber, cómo y porqué son elegidos miembros del consejo de cuenca, reconocer quienes los eligen y cuál sería su relación con grupos económicos o políticos importantes en la zona.

En el caso de la cuenca Lerma-Chapala, se puede observar una red compleja de intereses, no solo por incluir cinco Estados de la República (Guanajuato (43.75%), Michoacán (30.26%), Jalisco (13.42%), Estado de México (9.8%) y Querétaro (2.76%)(Cotler et al., 2006), sino también por la amplia diversidad de actividades económicas importantes que en ella se llevan a cabo y la presencia de ciudades con gran número de población como Morelia, Querétaro, León y Guadalajara lo que causa que muchas de las acciones que se proponen en favor de la cuenca se contrapongan y resulten contrarias a los objetivos de la gestión ambiental. Existe una competencia entre actores con acceso a los recursos naturales que puede dificultar la cooperación y coordinación entre sí (Claire, 2004).

**PALABRAS CLAVE:** Cuenca, gestión integral, grupos de interés, consejo de cuenca.

## INTRODUCCIÓN

La cuenca es vista como una opción para realizar el proceso de gestión de recursos naturales, así como sus usos y usuarios, poco a poco se ha ido tomando este concepto en los ámbitos académico, gubernamental y no gubernamental. En el caso del ámbito gubernamental se han formado organismos que son llamados Consejos de Cuenca, que son los encargados de involucrar usuarios en el proceso de gestión del recurso hídrico. De acuerdo con INEGI, INE Y CONAGUA (2007), el país cuenta con 1,471 cuencas, las cuales presentan una enorme variabilidad en tamaños. Este espacio es un ámbito geográfico natural donde se lleva a cabo el ciclo hidrológico, es un espacio de captación y concentración de aguas superficiales. Está formada por componentes bióticos,

abióticos, socioculturales, económicos e institucionales que están estrechamente vinculados con el agua. Los recursos naturales (renovables y no renovables) son aprovechados para satisfacer necesidades y entre estos recursos están el agua, el suelo y la vegetación por lo que se puede considerar como un espacio donde se organiza un sistema social con diversidad de actores que realizan actividades de su interés.

En el caso de la cuenca Lerma-Chapala, se puede observar una red compleja de intereses, no solo por incluir cinco Estados de la República (Guanajuato (43.75%), Michoacán (30.26%), Jalisco (13.42%), Estado de México (9.8%) y Querétaro (2.76%)(Cotler et al., 2006), sino también por la amplia diversidad de actividades económicas importantes que en ella se llevan a cabo y una alta concentración de ciudades con gran número de población como Morelia, Querétaro, León y Guadalajara lo que causa que muchas de las acciones que se proponen en favor de la cuenca se contrapongan y resulten contrarias a los objetivos de la gestión ambiental. Existe una competencia entre actores con acceso a los recursos naturales que puede dificultar la cooperación y coordinación entre sí (Caire, 2004).

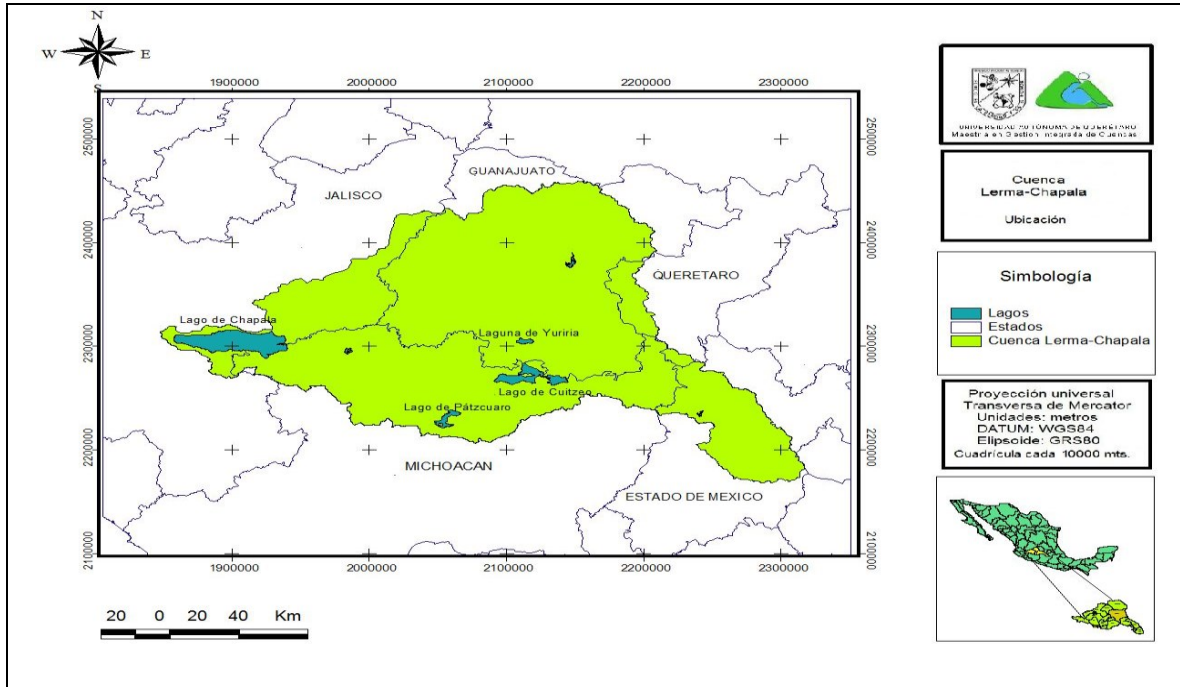
Al lograr identificar a los actores y tener una breve historia de vida se pueden relacionar con las acciones que se acuerdan dentro del Consejo de Cuenca que mayormente son de acuerdo a las actividades económicas que realizan, al ser una región donde se desarrollan actividades productivas industriales y agrícolas de gran importancia que se podrán relacionar con la ubicación de los grupos de interés más fuertes dentro del Consejo.

## **CUENCA LERMA-CHAPALA**

La cuenca Lerma-Chapala se encuentra en el centro-occidente del país. Abarca a partir del nacimiento del río Lerma (4600 msnm) hasta su desembocadura en el Lago de Chapala (1600 msnm). Está conformada por parte de los Estados de Guanajuato (49%), Michoacán (20%), Jalisco (15%), México (11%) y Querétaro (6%); y su superficie total es de 51,887 km<sup>2</sup>, sin embargo el Consejo de Cuenca Lerma Chapala incorpora, para efectos de gestión, las Cuencas Cerradas de Sayula (Cuencas hidrológicas de Laguna Villa Corona A, Laguna Villa Corona B, Laguna San Marcos-Zacoalco, Laguna de Sayula A, Laguna de Sayula B y Laguna de Zapotlán) que tienen una superficie de 3,132 km<sup>2</sup>, por lo que el ámbito geográfico total es de 55,019 km<sup>2</sup> (Gerencia Operativa, 2012).

Esta cuenca es considerada una de las regiones hidrológicas, sociales y económicas más importantes del país sin embargo, esto lo ha logrado en base a sus recursos naturales lo que provocado un fuerte deterioro de sus ecosistemas, pérdida de servicios ambientales y con todo esto el incremento de la vulnerabilidad de la cuenca. En la cuenca se ubican importantes asentamientos humanos al tener cuatro capitales: Morelia (Michoacán), Toluca (Estado de México), Querétaro (Querétaro) y Guanajuato (Guanajuato). La superficie de la Cuenca Lerma Chapala representa poco menos del 3% del territorio nacional, y cubre la superficie de 198 municipios de los Estados de Guanajuato, Michoacán, Jalisco, Querétaro y Estado de México y cuenta con una población aproximada de 12'633,912 habitantes.

Las principales actividades económicas que se desarrollan en la cuenca son la industria ya que dentro de la cuenca se genera el 47% del valor agregado censal bruto del país, lo cual se debe a las importantes industrias asentadas en el corredor industrial que comprende varias franjas desde los parques industriales Lerma-Toluca-Atlacomulco, el corredor San Juan del Río-El Marqués-Querétaro y los conglomerados industriales de Celaya-Salamanca-Irapuato-León.



**Mapa 1.** Cuenca Lerma-Chapala

La agropecuaria El porcentaje de superficie sembrada en la cuenca es de aproximadamente 43% produciéndose alrededor de 148 diferentes cultivos (granos, hortalizas y frutales principalmente). Los que ocupan mayor superficie son el maíz y sorgo, el primero el de mayor importancia tanto en zonas de riego como de temporal. El tipo de ganado es principalmente bovino y porcino, este último muy ligado a la producción de sorgo que le sirve de alimento.

### **CONSEJO DE CUENCA LERMA-CHAPALA**

En la cuenca Lerma Chapala el desequilibrio entre la oferta y demanda del agua se empezó a manifestar en conflictos por su uso y distribución y los bajos niveles de almacenamiento en presas y embalses principalmente en el Lago de Chapala. A causa de este problema con el Lago de Chapala, en 1988 el Presidente de la República, que era Carlos Salinas de Gortari, se compromete a recuperar el lago, por lo que la Gerencia Regional de Infraestructura Hidráulica del Centro trabajó en una propuesta de programa de ordenamiento y saneamiento de los aprovechamientos hidráulicos en la cuenca con 4 objetivos: sanear la cuenca; ordenar y reglamentar el uso del agua; eficientar el uso del agua y, manejar y conservar las cuencas y corrientes. Para lograrlos se formuló un acuerdo de coordinación junto con una serie de acciones a seguir.

Para el siguiente año, el 13 de abril de 1989, se firma el acuerdo de coordinación dirigido al saneamiento y ordenamiento, se tomaron estos aspectos como prioritarios porque el compromiso gubernamental estaba dirigido solo a estos temas. El acuerdo fue firmado por el Presidente de la República y por los cinco Estados que conforman la Cuenca Lerma-Chapala: Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Estado de México. En seguida se estableció un programa anual de evaluación y seguimiento de los trabajos de este acuerdo y para esto,

en septiembre del mismo año, se crea un grupo ejecutivo llamado “consejo consultivo” que se considera el precursor de lo que hoy es el consejo de cuenca.

Actualmente el Consejo de Cuenca Lerma-Chapala está integrado de acuerdo a las modificaciones al artículo 13 BIS 2 de la Ley de Aguas Nacionales en donde se redujo el número de participantes gubernamentales y se amplió la presencia de los usuarios:

- Presidente
- Secretario Técnico
- 7 vocales federales
- 5 vocales estatales
- 5 vocales municipales
- 18 vocales usuarios (incluyendo uno del sector sociedad organizada y uno de la academia).

### **PARTICIPACIÓN DE USUARIOS EN EL CONSEJO DE CUENCA**

El hecho de que actualmente exista la participación de usuarios del agua dentro del Consejo de Cuenca tiene el objetivo de involucrarlos en la gestión del agua para realizar un mejor manejo de la cuenca, sin embargo, las posiciones que ocupan dentro del Consejo de Cuenca son meramente consultivas y no decisorias, a través del Consejo sugiere las acciones a tomar pero no tiene el poder coercitivo para forzar a los Estados a poner en práctica las acciones que consideran necesarias para la cuenca.

Existen críticas respecto a la participación ciudadana en este tipo de órganos que la promueven para la toma de decisiones viéndolo como la oportunidad de “captura” de recursos públicos por parte de sectores minoritarios de la sociedad también llamadas “élites participativas”. En el caso de los representantes de usuarios que participan en el Consejo de Cuenca Lerma-Chapala se pueden identificar algunas características que los podrían definir con un perfil de élite, por ejemplo, el grado de escolaridad y miembros de asociaciones representantes de determinados segmentos de la sociedad civil organizada. Estas características pueden llevar al mismo tiempo a identificar un perfil de poder de los grupos de interés representados en el Consejo de Cuenca. En este sentido, el 100% de los vocales usuarios del Consejo de Cuenca pertenecen a organizaciones civiles (nacionales e internacionales) o gubernamentales entre las que se encuentran las siguientes:

En lo que se refiere a los usos que han variado más su representación desde que se les incluyó en el Consejo de Cuenca (1999) hasta la actualidad el uso que más cambios ha tenido es el público-urbano, seguido del agrícola. Esto se da porque en el caso de los representantes del uso público-urbano, regularmente es personal de los Organismos Operadores de Agua Potable y Alcantarillado Municipal que por lo tanto, cambian con cada administración municipal. Esto es considerado un problema por parte de otros vocales usuarios, ya que se menciona, no tienen información acerca de las actividades que se hacen en el Consejo de Cuenca y no puede haber un seguimiento en cuanto a acciones que les correspondan como vocales representantes de este sector.

<b>Uso</b>	<b>Grado de escolaridad</b>	<b>Asociaciones o dependencias</b>
Uso acuícola	- Lic. en Derecho	- Fundación de la Familia de Benito Juárez A.C. - Comisión de cuenca Alta del Río Lerma.
Uso agrícola	- Ing. Agrónomo - Lic. en Derecho/Maestría	- Asociación de usuarios de riego La Piedad A.C. - Regidor Ayuntamiento de Pénjamo, Gto. - Presidente del Distrito de Riego 011 - Consejo Estatal Hidráulico, Estado de Guanajuato - Secretario General del Ayuntamiento de La Barca, Jalisco.
Uso industrial	- Ing. Civil - Químico fármaco biólogo/ Maestría - Ing. Agrónomo	- Colegio de Ingenieros Civiles, Estado de México - Industria Limpia A.C. - Consejo de Industriales Ambientalistas del Edo. de México A.C. - NESTLÉ, Jalisco - COTAS Irapuato-Valle - Empresa Gigante Verde- General Mills México - Asociación de Procesadores Vegetales del Bajío - Natural Conservancy
Uso pecuario	- Ing. Agrónomo - Lic. en Informática Administrativa	- Sistema Producto Nacional Tomate Rojo - Diputado local, Michoacán - COTAS Pénjamo-Abasolo, Gto. - Empresa Salvipecuaria
Uso público urbano	- Lic. en Derecho - Ingeniería - Ingeniería	- Presidente Municipal de Ocotlán, Jalisco - Diputado local - Director de Agua y Saneamiento de Toluca - Director del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Silao, Gto. - Director de la Junta
Uso servicios	- Ing. Mecánico electricista	- Universidad Autónoma de Guadalajara - Consejo Académico del Agua, Jalisco - Asociación Mexicana de Hidráulica A.C. - Instituto Queretano San Javier
Academia	- Ing. Civil - Maestría en Ingeniería Ambiental - Dr. en Ingeniería de Procesos	- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo - Internacional Water Association - Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, A.C. - Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C. - SNI CONACYT
Sociedad Organizada	- Ing. Civil	- Consejo de Concertación Ciudadana para el aprovechamiento del agua, Qro. - Colegio de Ingenieros Civiles, Qro.

**Tabla 1.** Perfil de poder de los vocales usuarios del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala



En cuanto a la representación de cada uso por Estado, es notorio en el caso de la agricultura que Guanajuato está entre los Estados con mayor representación junto con Jalisco, siendo el primero la Entidad con mayor superficie agrícola. En el caso del uso pecuario, existe mayor representación por parte del Estado de Michoacán, en el que existen una gran cantidad de grandes granjas porcícolas en la zona de La Piedad principalmente. La representación industrial se encuentra entre Guanajuato y el Estado de México, siendo estos los que cuentan con grandes corredores industriales, en Guanajuato el corredor industrial Celaya-Salamanca-Irapuato y en el Estado de México el corredor Toluca-Lerma.

Existen varias opiniones acerca de la participación dentro del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala por parte de quienes están involucrados en sus actividades. Desde 1998 cuando se trató de impulsar la participación en los Consejos de Cuenca, personal del área jurídica de la Comisión Nacional del Agua se oponían a dar el derecho a voto a los usuarios, hubo resistencia, pero al final se logró que se diera este derecho. Hay quien considera que la participación dentro del Consejo de Cuenca ha tenido muchos frenos hasta la fecha, desde el momento que no se atiende en tiempo en forma las propuestas que se hacen dentro de la COVI ya que esto provoca que decaigan los ánimos de los usuarios por participar. Este año el punto principal a impulsar es la participación, ya que existe una recomendación de la Dirección del Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico, y se considera la importancia de fortalecer la participación social y así haya quórum en las reuniones, al ser este el principal problema. De 18 vocales usuarios, la media de participación es de 7 y los representantes de las Secretarías casi no asisten.

Otro aspecto que se considera importante es la participación de las Secretarías federales que integran el Consejo de Cuenca: SEMARNAT, SAGARPA, Secretaría de Salud, Secretaría de Energía, SEDESOL, Secretaría de Economía y Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Esto para que se vinculen las acciones que se deciden dentro del consejo de cuenca con las acciones que se realizan dentro de cada dependencia y esto a su vez, pueda motivar la participación activa de los usuarios al notar el interés de las secretarías en lo que se pueda proponer dentro del Consejo. Esta falta de participación puede ser a causa de la falta de información hacia dichas secretarías acerca de la operación del Consejo de Cuenca y cuál es su papel dentro de él, ya que se tiene la idea de que el manejo del agua le corresponden únicamente al sector ambiental sin tomar en cuenta que es un asunto que le concierne a todos los usuarios del agua.

En entrevista con funcionarios de CONAGUA, se puede notar que existe una visión del funcionamiento del Consejo que realmente cumple parcialmente con sus objetivos considerando la importancia de la apertura a la participación de la sociedad para la toma de decisiones en materia de cuencas pero también reconocen que no se ha podido definir una estrategia completa para que esa participación se abra o sea de impacto, es una participación que se formaliza en reuniones pero que no es de fondo, es decir, no es una participación que haga que los usuarios realmente tomen decisiones o participen en los acuerdos importantes de la cuenca.

De acuerdo a la información obtenida a través de entrevistas a personas involucradas en el Consejo de Cuenca Lerma-Chapala de los estados de Jalisco, Michoacán, Querétaro y Guanajuato consideran a los usuarios agrícolas de Guanajuato, específicamente el Distrito de Riego 011 como quienes han mantenido una participación activa dentro del Consejo al ser afectados en su producción con las decisiones que se tomen respecto a las aguas superficiales o como ellos mismos lo mencionan: “de la defensa de nuestros intereses depende que exista o no nuestra actividad”. De acuerdo a la revisión de actas de las reuniones de trabajo de la Comisión de Operación y Vigilancia (COVI) que es un órgano funcional del Consejo de Cuenca con la función de implementar, dar seguimiento y evaluar periódicamente las acciones y acuerdos que tome el Consejo, así como reunir la información necesaria para realizar los análisis para tomar decisiones eficaces como estudios

sobre disponibilidades de aguas superficiales o subterráneas y estudios técnicos justificatorios que cita la Ley Nacional de Aguas. También le corresponde aprobar la creación o extinción de los órganos auxiliares del Consejo y de los Grupos Especializados de Trabajo, la presencia de representantes agrícolas de Guanajuato es constante y siempre asisten a las reuniones acompañados del representante del Estado ante esta Comisión.

Este grupo de agricultores que representan a este uso ante el Consejo de Cuenca pueden cumplir con ciertas características que los definen como un grupo con poder de gestión (papel que desempeñan dentro del Consejo, respaldo que tienen de otros grupos de poder, autonomía, personas afectadas, instrumentos que tiene para hacer valer sus decisiones, conocimiento de las necesidades, criterios e intereses, entre otras). Por lo que se puede mencionar lo siguiente:

Este grupo tiene la representación del uso agrícola del Estado de Guanajuato ante el Consejo de Cuenca Lerma-Chapala desde el año 2003, este cargo lo cubre el Presidente del Distrito de Riego 011 en turno y hasta la fecha han sido tres personas. Los agricultores de Guanajuato ante el Consejo, cuentan con el respaldo del Distrito de riego 011 que está organizado en la figura de Sociedad de Responsabilidad Limitada de Interés Público de Capital Variable (SDRL) así como también tienen el respaldo del Consejo Estatal Hidráulico del estado de Guanajuato y de funcionarios de dependencias estatales (Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Comisión Estatal del Agua). Su participación y las decisiones que se tomen en cuanto a la gestión del agua hace que de eso dependa su actividad económica: la agricultura.

Aparte de la organización que tienen estos usuarios con el DR011, también se encuentran dentro del Consejo Estatal Hidráulico del estado de Guanajuato que representa a los usuarios del agua en el Estado y agrupa a los COTAS (Consejos Técnicos de Aguas), a los Distritos de Riego 011 y 085 y cuatro de las unidades de riego más representativas de Guanajuato (San Juan de Llanos, El Cubo, Presa Cebolletas y la Golondrina). En este Consejo se encuentran todos los usos del agua (agrícola, industrial, servicios, público urbano, pecuario y acuícola) y es convocado a participar respecto a asuntos hidráulicos. Actualmente es presidido por Samuel Aguilera Vélez, quien anteriormente fue Presidente del Distrito de Riego 011 y vocal usuario agrícola por Guanajuato en el Consejo de Cuenca Lerma Chapala. En el caso específico de los vocales agrícolas, se tiene el acuerdo de que el Presidente del Distrito de Riego 011 es a quien le corresponde ocupar este puesto, se decide que sea del DR 011 a causa de ser el distrito que abarca mayor superficie del Estado de Guanajuato. En los demás usos, los COTAS son quienes proponen algún candidato de sus mismos usuarios. En este caso del Consejo Estatal Hidráulico es necesario mencionar que dentro de esta organización también se encuentran los demás vocales usuarios que representan al estado de Guanajuato (industrial y público-urbano) ya que dentro de este Consejo estatal se decide quiénes ocuparán ese lugar ante la cuenca Lerma-Chapala. Toda esta organización es una estructura de poder que les da capacidad de negociación.

En lo que se refiere a los medios de que dispone para dar a conocer las decisiones que se toman dentro y fuera del Consejo, así como sus necesidades, al tener el apoyo del Distrito de Riego, en el caso de los agricultores, han tenido una buena difusión a través de periódicos de amplia distribución en el Estado y la región. Mediante estas notas periodísticas se difunden los temas que más les interesan a estas organizaciones, lo cual puede poner en un lugar de prioritario a incluir en las agendas de trabajo de los gobernantes. Esta capacidad de comunicación de sus intereses también se puede notar en las reuniones de la COVI en las cuales, gran parte de la orden del día corresponde a temas de aguas superficiales enfocadas principalmente al riego.

## CONCLUSIONES

La creación de los Consejos de Cuenca en México se consideró en su momento como un avance en la gestión del agua, ya que se integraba a los objetivos de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.

El modelo de participación predominante dentro del Consejo de Cuenca ha potenciado la participación de los grupos organizados, a diferencia de la capacidad de los ciudadanos no organizados de incidir en los procesos de gobierno. Entre las razones está el hecho de que los gobiernos ven a las asociaciones como interlocutores válidos de intereses y necesidades de la población aparte de que les es más fácil dialogar con grupos organizados. Además de considerar que los grupos organizados tienen intereses y expectativas más fuertes y mayor capacidad para influir y movilizar la opinión pública.

Existen varios obstáculos que han limitado el desarrollo y consolidación de los Consejos de Cuenca en México, y para el caso del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala se pueden mencionar:

- Falta de conocimiento de los actores gubernamentales respecto al funcionamiento del Consejo de Cuenca. A partir del 2004 se reincorporaron nuevamente representantes de secretarías federales: Secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Hacienda y Crédito Público, Desarrollo Social, Energía, Economía, Salud, Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. A pesar de su integración, se percibe por parte de integrantes del Consejo, una baja participación de estas en las sesiones y trabajos realizados y la principal causa que mencionan es una falta de información hacia estas dependencias acerca del objetivo del Consejo de Cuenca y cuál es su función dentro del mismo.
- Carencia de mecanismos de financiamiento de las actividades realizadas por los representantes usuarios en el Consejo de Cuenca que es una de las principales causas de la poca participación de los usuarios ya que los propios usuarios deben solventar los gastos para asistir a las actividades del Consejo: transporte, alimentación y en ocasiones hospedaje.
- La falta de personalidad jurídica que podría elevar las posibilidades de intervenir en la gestión del agua en muchas ocasiones es la causa de la falta de interés por participar en el Consejo por parte de los vocales usuarios principalmente, ya que en el transcurso del tiempo no ven beneficios y por lo tanto no encuentran razón alguna para seguir asistiendo a las reuniones y “perdiendo el tiempo y dinero” como se ha expresado por parte de los mismos usuarios y de representantes de entidades gubernamentales.

En lo que se refiere a la participación de los usuarios, han existido diversas trabas por parte de las mismas instituciones desde la creación del Consejo de Cuenca al no estar de acuerdo en dar derecho a voto a los usuarios en los acuerdos tomados en este tipo de órganos. Actualmente la principal causa de la disminución de la participación de usuarios mencionada por parte de diversos integrantes del Consejo es el hecho de que no se tomen decisiones trascendentes dentro del Consejo y no se tomen en cuenta sus opiniones para los acuerdos. Otro aspecto considerado es que no se plantean temas para todos los tipos de usos en las reuniones de la COVI principalmente, ya que solo se tratan temas relacionados con la distribución de aguas superficiales y agricultura, dejando de lado los demás usos y sus necesidades.

En esta comisión (COVI) se supone es donde se toman las decisiones para la cuenca pero en realidad no es así, si bien es más operativa, no se da la toma de decisiones o acuerdos de la cuenca, básicamente sólo se

aprueban acuerdos de distribución de agua superficial. Sería importante dar el salto hacia que a través de la COVI, el Consejo de Cuenca empiece a tomar decisiones que involucren a todos y sea de importancia para todos y para eso es necesario que las dependencias cedieran un poco de las decisiones que se toman pero el Consejo de Cuenca sigue siendo únicamente un foro de participación u opinión sin la capacidad de tomar decisiones importantes en cuanto a inversiones y acciones para la cuenca y eso ha provocado que se desmotive la participación por parte de los usuarios que cada vez asisten menos. La presencia en las reuniones de la COVI es principalmente de los representantes de los gobiernos estatales y los usuarios agrícolas de Guanajuato.

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Nohora Beatriz Guzmán Ramírez y al Dr. Raúl Francisco Pineda López por dirigir esta tesis, así como al Dr. Sergio Vargas Velázquez por apoyarme en la comprensión de algunos temas de la investigación.

A parte de los integrantes del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala por recibirme y compartir sus experiencias e inquietudes, entre ellos el personal directivo del Distrito de Riego 011 “Alto Lerma”.

## REFERENCIAS

- CAIRE Martínez, Georgina. “Retos para la gestión ambiental de la Cuenca Lerma Chapala: obstáculos institucionales para la introducción del manejo integral de cuencas” en: *El manejo integral de cuencas en México*. INE. México, 2004. Pp. 183-200.
- CHÁVEZ Zárate, Guillermo. “Del gobierno a la gobernabilidad de los recursos hídricos en México” en: *El manejo integral de cuencas en México*. INE. México, 2004. Pp. 173-182.
- Consejo de Cuenca Lerma-Chapala. Información básica del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala 2012. CONAGUA. 2012.
- Consejo de Cuenca Lerma-Chapala. Reglas Generales de integración, organización y funcionamiento del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala. Noviembre 2010.
- COTLER Avalos, Helena, Marisa Mazari Hiriart y José de Anda Sánchez. Atlas de la Cuenca Lerma Chapala. Construyendo una visión conjunta. INE-SEMARNAT. México, 2006.
- DOUROJEANNI, Axel. Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable. Serie Manuales. CEPAL. Chile, 2000.
- PACHECO Vega, Raúl y Obdulia Vega. Los debates sobre la gobernanza del agua: hacia una agenda de investigación en México en: *La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas. Tomo I*. IMTA, 2008. Pp. 57-86.
- VARGAS Velázquez, Sergio. “La participación social en la política del agua” en: *Revista Aquaforum*. Comisión Estatal del Agua de Guanajuato. México, 2008. Pp. 17-24.



# LA CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO DE COMPENSACIÓN POR SERVICIOS AMBIENTALES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, VERACRUZ: LECCIONES APRENDIDAS

Luisa PARÉ y Tajin FUENTES

Instituto de Investigaciones Sociales UNAM; [lpare@unam.mx](mailto:lpare@unam.mx)  
Sendas AC [murcilag@prodigy.net.mx](mailto:murcilag@prodigy.net.mx)

## RESUMEN

En esta ponencia presentamos la experiencia desarrollada para la Cogestión de la Subcuenca del río Pixquiac en el centro de Veracruz. Queremos compartir, más que información detallada sobre las características de la subcuenca, las premisas conceptuales para la coparticipación y la estrategia desarrollada para involucrar a distintos actores sociales, así como las dificultades encontradas en el proceso. A partir del concepto de Cogestión de cuenca y de una metodología participativa hemos diseñado un mecanismo local de *compensación por servicios ambientales hidrológicos*. Se ha impulsado un Comité de cuenca con participación de diversos actores, en primer lugar los dueños de bosques de la subcuenca que abastece parcialmente a la ciudad de Xalapa así como representantes de las instituciones de los tres ámbitos de gobierno interesados en el tema. Se ha buscado tanto impulsar una visión de sustentabilidad en el manejo de los recursos forestales e hídricos en la subcuenca como incidir en las políticas públicas para crear consensos acerca de la importancia de integrar la perspectiva de cuenca en la gestión del agua en el ámbito municipal. Nuestro rol ha sido fundamental para lograr cierta coordinación entre algunas instituciones gubernamentales que suelen actuar de manera aislada. Analizamos los factores que han propiciado u obstaculizado los esfuerzos realizados para que los distintos actores, tanto en la esfera comunitaria rural como en el sector gubernamental se apropien de los objetivos del proyecto.

**Palabras clave:** agua, servicios ambientales, sustentabilidad, cuenca agua, comunidades forestales, Xalapa, Veracruz.

## METODOLOGÍA: LA COGESTIÓN DE CUENCA Y LA COMPENSACIÓN POR SERVICIOS AMBIENTALES

En el año 2006, un grupo de profesionistas, habitantes de la subcuenca del río Pixquiac, organizados en la asociación civil SENDAS inició, junto con el Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM (IIS-UNAM), un proyecto para la *Cogestión integral de la cuenca del Pixquiac*<sup>2</sup>. La iniciativa enmarcada en una metodología de investigación-acción se encaminó a propiciar procesos de gestión territorial de los ecosistemas con base en la perspectiva de cogestión de cuencas hidrológicas. Para ello se buscó promover el desarrollo de instancias de

---

<sup>2</sup> Para una mejor comprensión de este caso veáse Paré Luisa y Patricia Gerez, 2012. *Al Filo del Agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz*. INE, Juan Pablos editor, Sendas AC, Universidad Veracruzana, Universidad Iberoamericana. México.

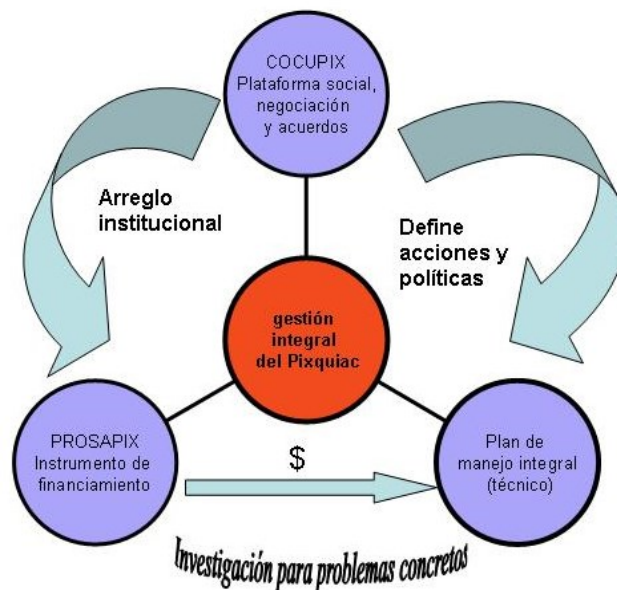
coordinación regional e intercomunitarias en las esferas técnica, organizativa y financiera<sup>3</sup>.

El presente trabajo se desarrolla desde una perspectiva de cogestión integral de cuenca que, de acuerdo con Benegas y Faustino (2008), se concibe como:

La gestión conjunta, compartida y colaborativa mediante la cual, diferentes actores locales como productores, grupos organizados, gobiernos locales, empresa privada, organizaciones no gubernamentales, instituciones nacionales, organismos donantes y cooperantes, integran esfuerzos, recursos, experiencias y conocimientos para desarrollar procesos dirigidos a lograr impactos favorables y sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales y del ambiente en las cuencas hidrográficas, en el corto, mediano y largo plazo.

La cogestión de cuenca no es una simple cuestión de carácter técnico, sino que implica la construcción colectiva de un espacio de participación y de planeación dentro de los límites del espacio natural conformado por una cuenca hidrográfica. Este espacio de coordinación regional e intercomunitaria, implica una nueva institucionalidad con la inclusión de los diferentes actores sociales y gubernamentales que inciden en la cuenca. En este sentido, la cogestión de una cuenca es resultado de la construcción de una plataforma social (Hagmann y Guevara 2004). La creación de esta plataforma permite orientar la acción conjunta de los actores sociales e implica tres aspectos: 1) las partes involucradas reconocen que tienen problemas en común; 2) hacen explícitos sus conflictos en torno al uso de los recursos del territorio (bosques, agua, suelos), y 3) negocian sus intereses alcanzando consensos en torno a los intereses comunes.

Lograr una gestión integral del agua —y de los ecosistemas asociados— que sea capaz de sortear los graves problemas de la sociedad contemporánea, demanda urgentemente soluciones creativas en las que el Estado necesita compartir la responsabilidad y la toma de decisiones con la sociedad.



**Figura 1** Esquema para la cogestión

<sup>3</sup> El primer paso fue realizar los estudios necesarios para establecer la línea de base respecto a la condición de la cuenca y la dinámica socioeconómica. Para ello se tocaron muchas puertas y finalmente se logró el financiamiento desde varias fuentes: una fundación ambientalista, el Fondo Mixto para la Investigación Gobierno del Estado-Conacyt, así como la DGAPA-UNAM.

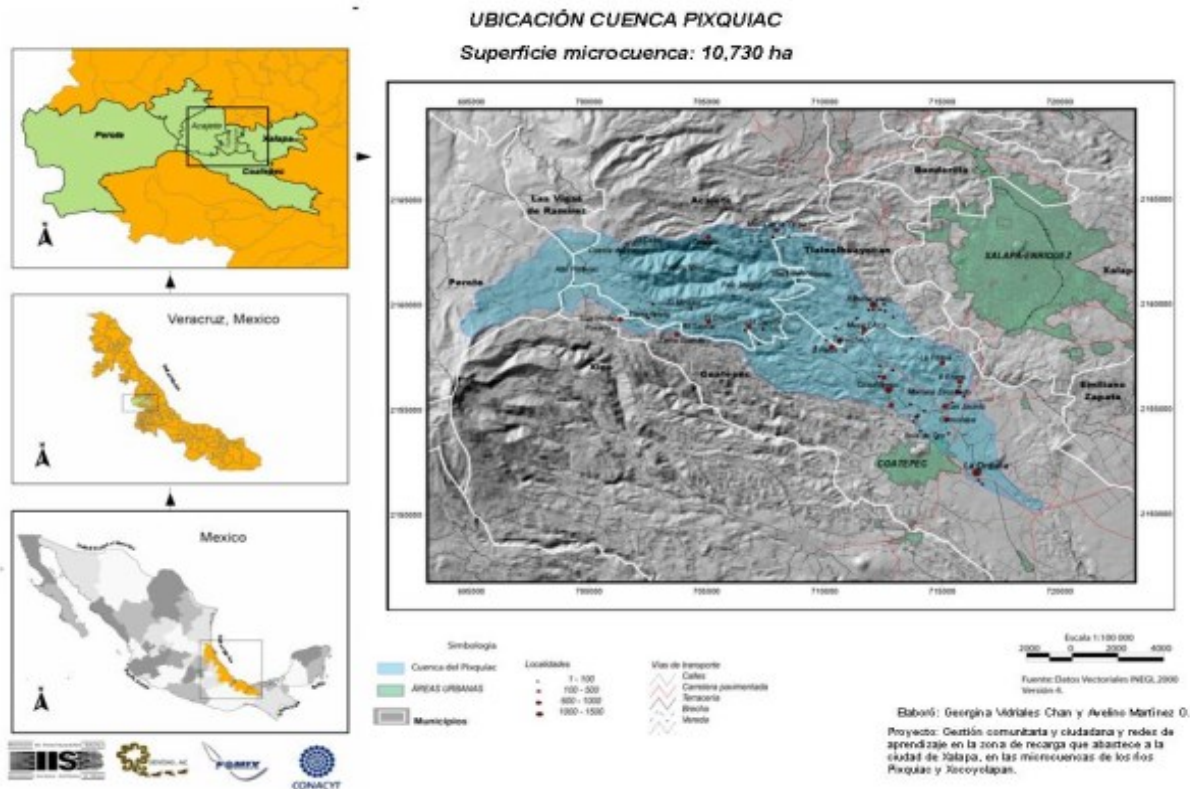
La nueva gobernanza que implica compartir la responsabilidad y el diseño de las soluciones se expresa, en el caso que nos ocupa, en la propuesta de gestión compartida de una cuenca, cuyos elementos centrales son: 1) una plataforma social (Cocupix) en la que los actores de la cuenca negocian sus intereses, 2) generación de información apropiada para nutrir la toma de decisiones, 3) acuerdos que toman forma bajo políticas de ordenamiento del uso del territorio y un plan de acciones para lograr el manejo sustentable de la cuenca (plan de manejo), y 4) un instrumento de financiamiento para apoyar el desarrollo del plan de manejo de la cuenca. Antes de revisar cada uno de estos pasos presentamos la zona de trabajo: la subcuenca del río Pixquiac.

## **LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC: CARACTERÍSTICAS Y SUPUESTOS INICIALES**

La subcuenca del río Pixquiac se localiza en el centro del estado de Veracruz y forma parte de la Cuenca Alta del río La Antigua comprendida entre los volcanes Pico de Orizaba y el Cofre de Perote. Se ubica en la ladera barlovento del Cofre de Perote, expuesta a los vientos cargados de humedad provenientes del Golfo de México. Con una superficie total de 10,727 ha y una longitud de 30.27 kilómetros se sitúa entre las ciudades de Xalapa y de Coatepec e involucra parcialmente a los municipios de Perote, Las Vigas, Acajete, Tlalnahuayocan y Coatepec. La zona alta de la subcuenca incluye 908 ha dentro del Parque Nacional Cofre de Perote. Esta región tiene una alta diversidad ecológica, sus condiciones topográficas y climáticas favorecen diferentes tipos de vegetación y fauna, y en consecuencia de usos del suelo asociados.

Por sus condiciones naturales y sociales heterogéneas, la subcuenca del río Pixquiac comprende tres zonas: alta, media y baja, de acuerdo a su diferenciación altitudinal, climática y de vegetación. Además se presenta una gran diversidad de condiciones socioeconómicas contrastantes, con localidades aisladas, con alto grado de marginación, caracterizadas en muchos casos por un uso poco sustentable de los recursos y opciones productivas poco redituables. La parte baja de la cuenca está conformada por áreas de rápido desarrollo urbano favorecidas por los bienes y servicios ambientales que aportan las zonas rurales (como es el abastecimiento de agua y el paisaje). La subcuenca del Pixquiac es una de las dos fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de Xalapa (38%) vocación que podría perder por amenazas como la tala y extracción de madera, el crecimiento desordenado de la mancha urbana. El desarrollo descontrolado de estas actividades puede llegar a afectar irreversiblemente los procesos eco-hidrológicos de la subcuenca, con el consecuente desequilibrio tanto en los ecosistemas como en el ciclo natural del agua. El proyecto ubicó su área de mayor incidencia en la cuenca media con presencia tanto de bosque de niebla, como de bosques de pino.





**Figura 2** – Mapa de la Subcuenca del río Pixquiaca.

## CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LAS COMUNIDADES

En las partes media y alta de la subcuenca encontramos comunidades forestales que tradicionalmente se han dedicado a la tala no regulada (ejido San Pedro Buenavista) en la zona media, y en la más alta el ejido Los Pescados. En este último ejido, con parte de su territorio ubicado dentro del Parque nacional Cofre de Perote se ha dado una reconversión de parte de las tierras forestales a cultivo de sin que haya habido restricciones a cambio de uso de suelo o a extracción<sup>4</sup>.

Donde trabajamos no hay tradición de organización para el manejo forestal, aunque sí ciertos acuerdos comunitarios para determinar normas de apropiación entre comunidades al interior de algunos ejidos. En el ejido San Pedro Buenavista (SPB), para evitar conflictos entre las cinco comunidades que lo conforman se había acordado no hacer uso del bosque en las áreas en común; aunque en la práctica esta regla no se observaba de manera rigurosa, dejando lugar a una permisividad tolerada en que los ejidatarios incursionaban para sacar madera. En el caso del ejido los Pescados, dueño de los bosques donde se ubican los manantiales que constituyeron la primera fuente de aprovisionamiento de agua de Xalapa, de tiempo atrás se había asumido una responsabilidad colectiva para el cuidado de las áreas en común y del el bosque en la zona de los manantiales particularmente.

<sup>4</sup> Por más de 50 años el Parque nacional no contó con una administración ni Plan de manejo y, aún hoy en día, la vigilancia es bastante laxa.

En el ejido SPB cuyos ejidatarios se ubican en 5 comunidades con ciertos conflictos histórico entre las mismas, las parcelas de un promedio de 5 has se destinan, en la parte alta a la ganadería lechera, al cultivo de maíz y en menor proporción al cultivo de la papa así como al aprovechamiento forestal individual, parcelario y a la reforestación. En la parte más baja del ejido (Vega del Pixquiac y Palo Blanco) los terrenos se destinan principalmente al cultivo del maíz y del frijol así como al aprovechamiento forestal no regulado.

## LA PLATAFORMA SOCIAL

Buscando propiciar la creación de un sujeto social que se apropiara del proceso y para involucrar las instituciones con interés en los temas de bosques, agua y desarrollo rural y en los tres ámbitos de gobierno, impulsamos la conformación del Comité de Cuenca del Río Pixquiac (Cocupix). A partir de 2007 los recursos aportados al ahora llamado Prosapix (Programa de Compensación por Servicios Ambientales del Pixquiac) en partes iguales por el gobierno de Veracruz y de Xalapa fueron canalizados a través del Fideicomiso ABC.<sup>5</sup> Teóricamente el Comité era reconocido como órgano auxiliar del Fideicomiso aunque nunca fue invitado a reuniones de planeación. El esquema que sigue representa la conformación inicial del Comité de Cuenca. Esta integra tanto a los campesinos, como a representantes de las distintas instituciones estatales y federales que tienen que ver con la gestión de los bosques y del agua así como representantes de los Ayuntamientos<sup>6</sup>. Esta composición busca que evitar acciones en distintas direcciones establecer lineamientos que pudieran ser vinculantes así como continuidades. Esta estructura o red interorganizacional comprende también representantes de instituciones académicas y de la sociedad civil.

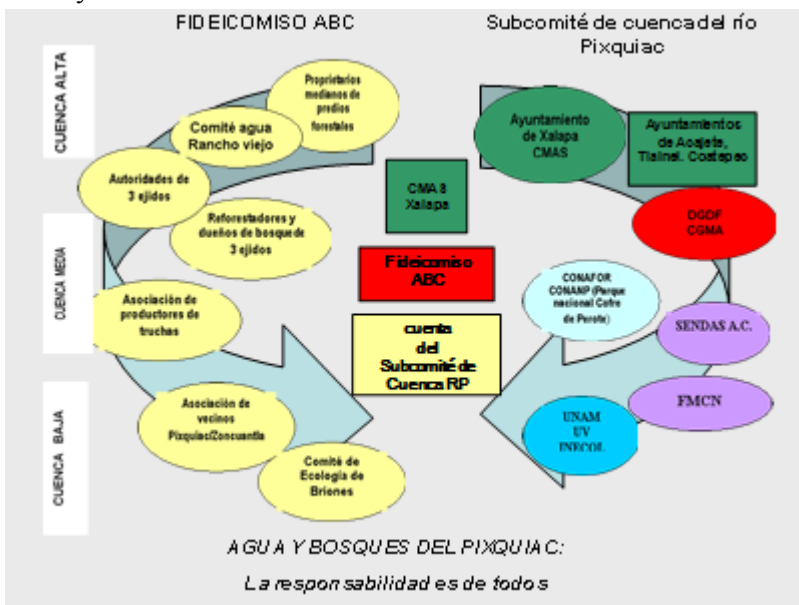


Figura 3 Esquema del Comité de Cuenca del río Pixquiac

<sup>5</sup> Fideicomiso Público para la Conservación, Restauración y Manejo del *Agua*, de los *Bosques* y las *Cuencas* del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.

<sup>6</sup> La asamblea general es la máxima autoridad, la cual es delegada en una mesa directiva. La operación del plan de trabajo es a su vez delegada en un prestador de servicios técnicos: SENDAS A. C.

## LAS ACCIONES Y LAS POLÍTICAS

La realización de talleres de diagnóstico participativo y de planeación comunitaria nos ha permitido empezar a dibujar este proyecto común en torno a un manejo sustentable de los recursos naturales y a desarrollar vínculos organizativos al interior de los ejidos y entre éstos. Estos talleres son los que dan pie a los grupos de trabajo y planes de trabajo en cada comunidad

### **EL PROSAPIX<sup>7</sup>: UN MECANISMO LOCAL DE COMPENSACIÓN POR SERVICIOS AMBIENTALES.**

En 2006 iniciamos las investigaciones necesarias para entender los procesos y las tendencias socioambientales de la cuenca. Es importante recalcar que nuestro proyecto surge como continuidad de una lucha ciudadana para evitar el paso del libramiento de Xalapa por la vertiente sureste del Cofre de Perote, o sea la Cuenca del río Pixquiac, abastecedora del 40% del agua de Xalapa gracias a los bosques de pino-encino y mesófilo aún presentes en esta área<sup>8</sup>. Esta lucha posicionó ante la opinión pública la importancia del bosque de niebla y de las áreas de captación de agua y la conexión entre bosques y agua, zonas rurales y ciudad.

Se dio una conjunción de circunstancias institucionales para iniciar un programa de Pago por servicios ambientales. En aquel momento el Ayuntamiento de Xalapa, enfrentaba el descontento de los usuarios de agua por el aumento de 30% en las tarifas de agua recién aplicado con motivo de su endeudamiento por la construcción de una planta de tratamiento de aguas. Para paliar el descontento, el Ayuntamiento había ofrecido destinar parte de los recursos al cuidado de las fuentes de agua de la ciudad, pero carecía de una propuesta concreta para realizarlo.

Partimos del supuesto que la zona se encontraba en un proceso de deforestación por un lado y, por otro, que era del interés de la ciudad de Xalapa como principal usuario integrar una visión más regional y ecosistémica a su planeación urbana, en particular del recurso hídrico para su población. Fue así como nuestro equipo propuso al Ayuntamiento de Xalapa y la Comisión Municipal de Agua y Saneamiento de Xalapa (CMAS) el diseño y operación de un Programa de Compensación por Servicios Ambientales (PCSAX). El año anterior el gobierno del estado había creado el Fideicomiso ABC<sup>9</sup>, una iniciativa para la conservación y restauración de aguas y cuencas. Esta institución sirvió de enlace con el Ayuntamiento de Xalapa para conformar el Programa antes mencionado. Este mecanismo constituía una manera de financiar actividades productivas y de conservación con el resultado de mejorar la salud de los ecosistemas y las condiciones de vida de sus habitantes. Partimos de la idea de que la conservación de los bosques y fuentes de agua se logrará sólo si se mejoran los ingresos y condiciones de vida de los dueños de los predios rurales donde se generan dichos servicios ambientales. A diferencia del programa de CONAFOR, el Programa de Compensación por servicios ambientales que diseñamos fijó un monto más cercano a las alternativas productivas de la región es decir \$1000/ha (en vez de \$400/ha), e incluyó además recursos para financiar proyectos productivos alternativos. La heterogeneidad de las condiciones locales requiere de estrategias diferenciadas en atención a la conservación, la protección, la restauración o la producción misma.

---

<sup>7</sup> Programa de Compensación por Servicios Ambientales del Pixquiac

<sup>8</sup> Esta circunstancia más un constante señalamiento de parte de la prensa y de investigadores de la tala ilegal en la zona fueron factores que incidieron para una búsqueda de alternativas para un manejo sustentable de los recursos en la zona

<sup>9</sup> Fideicomiso Público para la Conservación, Restauración y Manejo del *Agua*, de los *Bosques* y las *Cuencas* del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.

De este modo, se establecieron cuatro líneas fundamentales de acción:

Conservación	Servicios ambientales. Conformación de áreas particulares de conservación, reservas ejidales, privadas, servidumbres ecológicas, etc.
Restauración	Reforestación con especies nativas del bosque mesófilo. Plantaciones forestales.
Manejo forestal	Aprovechamiento sustentable de productos maderables. Aprovechamiento sustentable de productos no maderables.
Ordenamiento ecológico. Reconversión productiva	Ordenamiento participativo; Ordenamiento de uso del suelo y actividades productivas. Reconversión productiva, intensificación de la ganadería, cultivo de alcatraz, ecoturismo, etc.
Calidad del agua	Monitoreo comunitario de la calidad del agua.

**Cuadro 1.-** Líneas del trabajo del PROSAPIX

## ALGUNOS RESULTADOS

Los ejercicios de diagnóstico comunitario y de planeación emprendidos con las comunidades, con apoyo del Programa de desarrollo comunitario de CONANP y el Programa de Desarrollo forestal de la Comisión Nacional Forestal (PROCYMAF) han conducido a tomar decisiones importantes como fue acordar se realizara un Programa de Manejo Forestal en el bosque de pino en común, o declarar zonas de conservación en los fragmentos de bosque mesófilo en las áreas ejidales de uso común.

En resumen a siete años de operación, las principales metas alcanzadas por el Prosapix han sido:

- Trabajo en 4 ejidos de tres municipios.
- Reforestación con especies de bosque mesófilo (BM) en 112.5 hectáreas (con apoyo de 2000 pesos por hectárea y mantenimiento anual a 3 años).
- 1072 hectáreas de bosques en conservación (incluye apoyo al programa de mejores prácticas en áreas de uso común declaradas como reserva ejidal e inscritas en el PSAH-CONAFOR).
- Establecimiento de tres viveros comunitarios de especies de BM.
- Apoyo incipiente a 117 ejidatarios para iniciar proyectos de reconversión productiva.
- En un ejido (SPB) Acuerdos comunitarios para declarar como reservas ejidales áreas en común
- En otro ejido (Los Pescados) integración del área de bosque en común al Programa de Compensación por servicios ambientales) y acuerdo de realizar actividades de reforestación en el área del ejido comprendida dentro el Parque Nacional Cofre de Perote.
- Diversos proyectos productivos con grupos de ejidatarios y de mujeres

- Un Comité de Cuenca ahora extendido a las tres zonas de la cuenca con un comité directiva compuesto de representantes de las tres zonas de la cuenca y de composición mixta.

## LOS ARREGLOS INSTITUCIONALES

### **Limitaciones y retos para la construcción de la plataforma social y arreglos institucionales de mediano plazo.**

El Comité de Cuenca se ha mantenido desde hace siete años como la instancia a partir de la cual se acuerdan los planes de trabajo anualmente, se rinden cuentas y se acuerdan puntos de negociación o medidas de presión cuando necesario. A pesar de este notable logro hasta el momento encontramos dos grandes debilidades para que el Comité de Cuenca funcione como una plataforma social en que “los actores de la cuenca negocien sus intereses”.

A seis años de operación del Programa y tres administraciones municipales, no se ha logrado aún dotarlo de un marco jurídico que indique una apropiación real y efectiva del Programa de parte, no de un gobierno municipal en turno, sino del Ayuntamiento de la ciudad de Xalapa. El primer año de operación, el PCSAX tuvo como único sustento legal un Acta de Cabildo y posteriormente en que se sumaron recursos de Conafor y de la Secretaría Desarrollo Agropecuario y Pesca de Veracruz se siguió operando sin más que un convenio anual.

Por un lado la presencia institucional siempre mantuvo un perfil bajo, caracterizado por la participación de funcionarios, muchas veces, de un nivel inferior al de la toma de decisiones o sin una presencia constante. Se logró la participación más o menos constante de representantes municipales de un solo municipio y de la CMAS de Xalapa más no del Ayuntamiento mismo. Además esta participación meramente formal y con poco brillo no redundó en acuerdos más allá de la aportación de recursos, dejando fuera temas como la participación en la vigilancia, el ordenamiento ecológico, la capacitación, la posibilidad de involucrar a los usuarios del agua en aportaciones voluntarias o de fijar una cuota determinada para el pago de servicios ambientales hidrológicos en el recibo de agua, etc... En el Cuadro 2 *Análisis institucional del comité de cuenca: parte correspondiente a las instituciones* se puede seguir la línea de tiempo de las iniciativas impulsadas por el Comité de Cuenca y las respuestas del sector gubernamental en los tres ámbitos de gobierno.

Así como el concepto de subcuenca conlleva implícito el flujo y las interrelaciones como parte fundamental de su funcionamiento, encontramos que la experiencia de impulsar un proceso de cogestión de esta subcuenca nos colocó frente a un Estado falto de coordinación institucional, sin flujo de información, ni de compromisos recíprocos. Esta fragmentación entre los distintos sectores de la administración pública representa una de las principales limitaciones para lograr la cogestión.

El desinterés del sector público acentuado por los constantes cambios de administración, en el ámbito municipal y estatal en particular nos llevó a cambiar de estrategia. Ahora la membresía del Comité se restringe al sector campesino cuya dirección fue asumida por representantes de distintos sectores de la sociedad civil y de las tres zonas de la cuenca, relegándose los asesores a su papel de asesores. Este cambio implicó que la interacción con funcionarios de gobierno no se da dentro del Comité como un espacio de co-responsabilidad sino entre el Comité y los funcionarios en un espíritu más bien de negociación, mediada muchas veces por los asesores. En este sentido podemos afirmar que los campesinos no han sido tomados aún realmente como los interlocutores legítimos.

No podemos generalizar estas afirmaciones a todas las instituciones de gobierno. En el cuadro 2 podemos ver que el sector con mayor constancia a lo largo de todo el proceso ha sido el sector forestal federal (CONAFOR). Esto se puede atribuir a que, independientemente de las críticas recibidas a su programa de SA, la institución busca mostrar resultados cuantitativos y tiene reglas de operación determinadas y un equipo técnico constante lo que no es el caso con la contraparte estatal. La institución cuenta con personal preparado que ha sabido mantener interlocución con los grupos locales e integrar propuestas de manejo para adecuar un programa muy general a situaciones regionales específicas.

La parte municipal correspondiente al usuario teóricamente más interesado, Xalapa, ha aportado de manera constante pero sin institucionalizar el proceso.<sup>10</sup> Evaluar resultados a partir de logros precisos, crecimiento de un programa, con más recursos, y más miembros o afiliados no nos dice nada sobre procesos y tampoco sobre avances en políticas públicas.

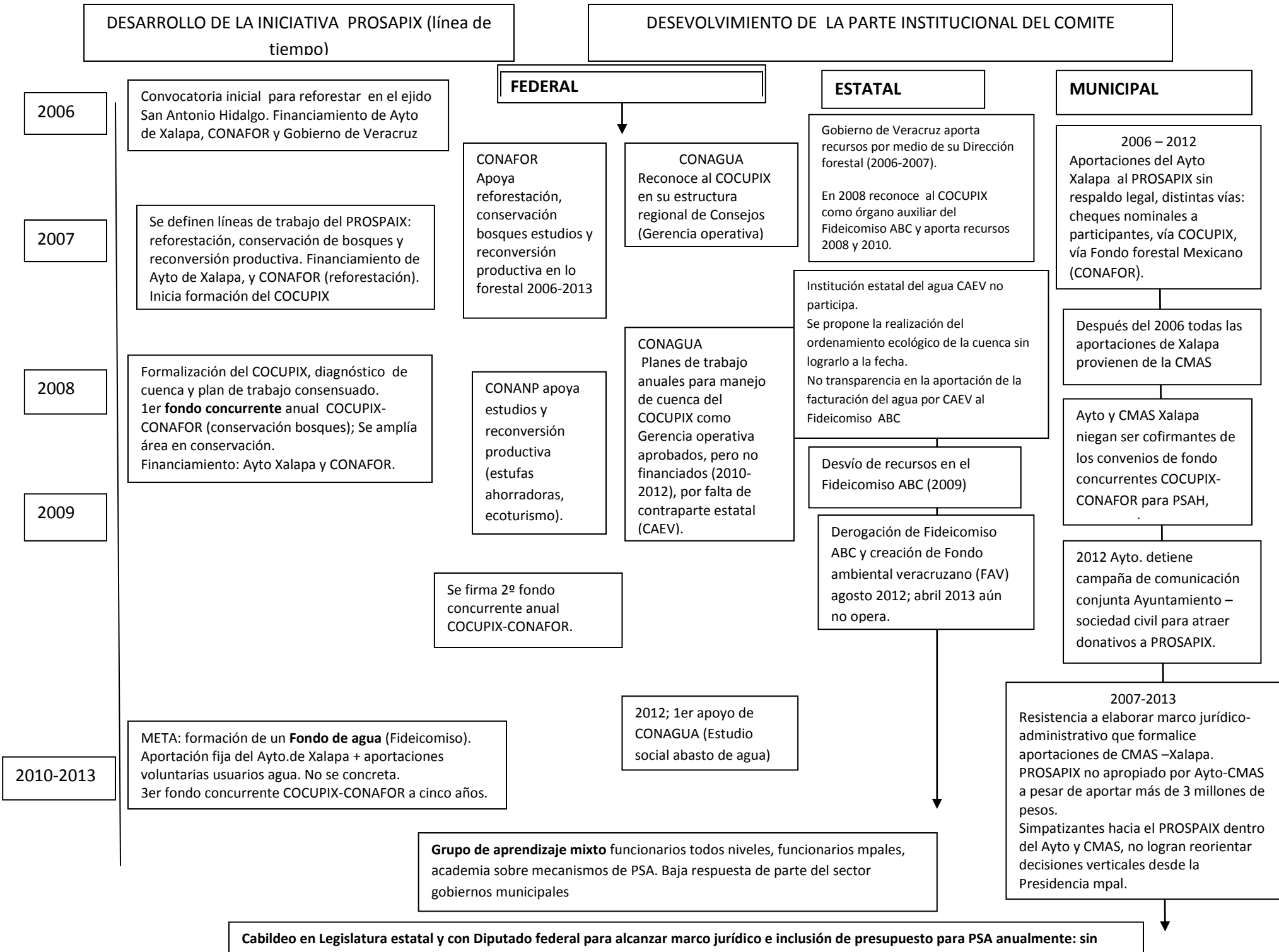
Muchas veces los logros son resultado de la capacidad de cabildeo de personas o grupos de la sociedad civil, de las características del interlocutor, de relaciones interpersonales pero no de construcción de una institucionalidad. En su estudio sobre: *Políticas públicas hacia la sustentabilidad: integrando la visión sistémica*, C. Galán, P. Balvanera y F. Castellarini (2012) señalan varias dificultades institucionales para el manejo de los ecosistemas que van en la misma dirección de varios de los comportamientos encontrados en nuestro caso.

- ✓ Carencia o falta de alineación entre políticas e incentivos económicos con el cuidado de los ecosistemas
- ✓ Ausencia de canales y mecanismos para el involucramiento de diversos grupos de interés
- ✓ Fragmentación y falta de coherencia entre políticas de distinto corte sectorial o nivel de gobierno
- ✓ Obstáculos para la integración de distintas escalas espaciales y temporales

---

<sup>10</sup> Lo que más se ha logrado jurídicamente, por nuestra participación en el Consejo del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ayuntamiento de Xalapa, es que el Reglamento de Medio Ambiente desarrollado incluya la protección e las cuencas abastecedoras de agua de Xalapa.

**CUADRO 2.- Análisis institucional del comité de cuenca: parte correspondiente a las instituciones**



En muchas instituciones gubernamentales existe una gran resistencia para establecer acciones concretas de colaboración con organismos de la sociedad civil. Por un lado, los procedimientos institucionales operan con una enorme rigidez, impidiéndoles responder con agilidad a las necesidades de proyectos concretos. Por el otro, los funcionarios se muestran renuentes a trabajar de forma colaborativa con la sociedad civil y entorpecen los alcances de acciones conjuntas enfocadas en generar una sinergia positiva y productiva. Todos estos factores hicieron que lo que se va construyendo entre el equipo asesor con los campesinos no constituyera un proceso de parte de la mayoría de las instituciones sino tan sólo una erogación presupuestaria anual en el mejor de los casos. En este sentido cada cambio de administración no se construye sobre lo anterior sino que se parte de cero. La iniciativa de buscar una cohesión y coordinación entre los distintos sectores de la administración pública, desde el nivel ejidal, pasando por el municipal, el estatal hasta el federal y el legislativo (estatal y federal) siempre partió del equipo asesor.

Tener una base común de entendimiento del problema es una de las dificultades. Las *cuenca*s como concepto no son muy relevantes para las autoridades municipales, ni para los responsables del suministro de agua en las ciudades, porque predomina una visión administrativa en la que se busca resolver el abasto mediante el transporte del agua de una cuenca a otra, desestimando los efectos ambientales, productivos y sociales que estas medidas pueden generar en el mediano plazo.

### **LA APROPIACIÓN DEL PROCESO DE PARTE DE LOS ACTORES LOCALES**

Los problemas de apropiación o de asumir una co-responsabilidad para la gestión de cuencas no sólo tienen que ver con la parte gubernamental. De parte de los actores locales, aunque se busca lo más posible, a través de la metodología participativa, que sea activo en la definición de problemas y de posibles soluciones, el proceso de apropiación de una propuesta colectiva y el seguimiento de acuerdos no es tarea fácil y un proceso lento.

Entre los factores que condicionan la factibilidad de esta apropiación mencionaremos con los más importantes:

#### **En el aspecto agrario:**

El parcelamiento de las tierras dificulta la elaboración de reglas de acceso a los recursos. Con el PROCEDA se ha acelerado el proceso de fragmentación de la propiedad y, por lo mismo, la virtual privatización de los recursos de interés común. En la medida en que se vende la tierra a personas externas se van debilitando las instancias locales de toma de decisión, como las asambleas ejidales, y los acuerdos y reglas colectivas locales sobre el cuidado de manantiales y arroyos. El parcelamiento de la mayor parte del territorio ejidal en parcelas ejidales hace más difícil, aunque no imposible, los acuerdos comunitarios. Ha sido donde los ejidos aún tienen tierras en común donde se ha podido trabajar, tanto para la gestión de estas áreas como para propuestas de manejo en las parcelas individuales. Donde no existen tales condiciones las actividades se realizan de manera individual con cada ejidatario.



### **En el aspecto organizativo:**

Los programas de corte asistencialista y clientelar, aunado a la falta de monitoreo y seguimiento a los proyectos, tanto en términos burocráticos, de comprobación de gastos, como de su efectividad e impactos positivos, han provocado que los recursos públicos sean percibidos como subsidios y no como inversiones que buscan romper vínculos de dependencia. Esta circunstancia, además de la práctica común de manejo no transparente de los recursos y de actos de corrupción, ha creado relaciones de desconfianza, divisionismo y competencia, tanto a nivel interno como hacia el exterior, en vez de abonar hacia relaciones de colaboración y solidaridad.

Aún donde los ejidos no han entrado al régimen de dominio pleno, la institucionalidad es muy débil. Los ejidos no suelen tener reglamentos o bien la aplicación de las normas no suele existir o funcionar. En el caso del ejido donde se ha realizado el Plan de manejo forestal la elaboración del reglamento ejidal exigida por la SEMARNAT fue objeto de talleres para fijar normas. Se integró un Comité del bosque para regular los trabajos de aprovechamiento forestal.

Para contrarrestar las prácticas de tipo clientelar y asistencialista hemos puesto el énfasis en aspectos organizativos, en particular en la definición de planes de trabajo precisos que son objeto de monitoreo y evaluación colectiva, de elaboración de reglamentos y en la planeación estratégica. El énfasis en el monitoreo es para romper con una cultura de simulación que ha sido la predominante en las relaciones de la población local con los representantes de gobierno, técnicos, etcétera. Para ello se busca la aplicación de los mismos de parte de los propios interesados.

El fortalecimiento de los procesos organizativos y de capacidades locales implica que las inversiones sean concebidas como tales y no como subsidios, y que se desarrolle un compromiso de responsabilidades. Incorporar el enfoque de género significa incluir a las mujeres en los diagnósticos y planeación de actividades, respetando los usos y costumbres, apoyar sus iniciativas ayudando al mismo tiempo a evitar o a dirimir los conflictos que implica una nueva forma de participación de ellas en la vida comunitaria. Frecuentemente las mujeres son excluidas de las actividades de la vida pública, de la posesión de tierras, de la participación en proyectos productivos y en las tomas de decisiones en sus ejidos.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Benegas, L; y J Faustino (eds.). 2008. *Cogestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos* [Memoria del Seminario Internacional realizado en CATIE del 14 al 16 de octubre del 2008]. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 157 p. (Serie Técnica. Reuniones Técnicas no. 13).
- Hagmann, J. y F. Guevara H. 2004. *Aprendiendo juntos para el Cambio: la facilitación de innovaciones para el manejo sustentable de recursos naturales y el desarrollo rural a través de procesos participativos*. Serie estudios de caso, Red de Estudios para el Desarrollo Rural A. C. y Fundación Rockefeller, Oaxaca de Juárez, México: pp. 153
- Galán, C. , P.Balvanera y F. Castellarini, 2012. *Hacia la sustentabilidad: integrando la visión sistémica*. CONABIO. Mexico.

# LA AIPROMADES, SINERGIAS Y ALIANZAS ESTRATÉGICAS PARA LA SUSTENTABILIDAD DE LA CUENCA DEL LAGO CHAPALA

Isabel LÓPEZ RIBERA<sup>a</sup> y Ofelia PÉREZ PEÑA<sup>b</sup>

<sup>a</sup> SEMARNAT, Jalisco, email: isabellopezribera@gmail.com

<sup>b</sup> CUCBA UdeG, email: operezp2001@gmail.com

## RESUMEN

En este trabajo se analiza la relevancia de las sinergias y alianzas estratégica promovidas por la Asociación Intermunicipal para la Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala (AIPROMADES) para la implementación del Plan para la Sustentabilidad del Lago Chapala.

La AIPROMADES constituida como Asociación el 30 de julio de 2009 y como Organismo Público Descentralizado el 21 de mayo de 2010, es una organización integrada por 16 municipios de la cuenca del Lago Chapala. El objetivo de la Asociación es el de promover la realización de obras, servicios y acciones para coadyuvar a la protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Cuenca del Lago de Chapala, ríos y afluentes tributarios y del cuerpo de agua lacustre.

Desde su integración, la AIPROMADES en sinergia con Instituciones académicas y de investigación (UdG, CIESAS, IPN, UNAM) y gubernamentales (SEMARNAT, SEMADES) presentó al Congreso de la Unión el Plan Interestatal para la Sustentabilidad del Lago de Chapala. Este Plan fue aprobado el 27 de Abril del 2010 por la LXI Legislatura de la Cámara de Diputados. El 12 de Junio del 2010 se aprueba un punto de acuerdo por el que se exhorta a la SEMARNAT, la CONAGUA y a los Gobiernos de Jalisco y Michoacán a emitir un convenio para implementar todos los acuerdos del Plan Interestatal. El 7 de Septiembre del 2010 se publica en la Gaceta parlamentaria el punto de acuerdo por el que se solicita a las Comisiones de Presupuesto, Cuenta Pública, de Recursos Hidráulicos y de Medio Ambiente y Recursos Naturales que consideren el programa operativo 2011 del Plan Interestatal para la Sustentabilidad del Lago de Chapala.

**Palabras clave:** Intermunicipalidad, sustentabilidad, consensos, acción local.

## INTRODUCCION: POLÍTICA Y ACCIÓN GUBERNAMENTAL HACIA LA CUENCA DEL LAGO CHAPALA.

En México, hasta fines del siglo XIX, el uso de las aguas era un asunto de los grupos sociales directamente vinculados con el uso cotidiano de los recursos hídricos y de las instancias locales de poder público. Los mecanismos de distribución del líquido, el nombramiento del aguador, la resolución de conflictos, la organización de las obras de construcción y conservación de las presas y canales eran un asunto local, sin ninguna injerencia estatal o federal. Las comunidades, los pueblos,

las haciendas, los ranchos, los ayuntamientos, los empresarios agrícolas e industriales, los jueces prefectos y los jefes políticos decidían el uso de las aguas (Aboites, 1998). Ello no estaba exento de problemas pues esos usos, tenían que ver con el grado de organización, enfrentamiento y colaboración de las distintas clases sociales según sus proyectos e intereses.

Hacia 1888, y a partir de una modificación del artículo 72 de la Constitución de 1857, las aguas fueron consideradas federales. Este instrumento legal más otros más que se generaron posteriormente le otorgaron al gobierno facultades para regular los nuevos y gigantescos aprovechamientos. Con el control del agua el Estado se revestía de un gran poder no sólo para decidir lo relativo al agua, sino también para armar grandes negocios como el desarrollo de industrias de punta (hidroeléctricas), influenciar la dirección de diversos ramos de la economía, llámese agricultura e industria, y para promover el desarrollo económico y social en las regiones.

La federalización y centralización de las aguas tuvo grandes repercusiones locales. Las organizaciones sociales y autoridades políticas se vieron fuertemente debilitadas pues no sólo perdieron el control sobre los usos del agua, sino también con ello vieron desquebrajada su relativa autonomía local, tanto en lo productivo como en la vida cotidiana de los pueblos. Además, la reglamentación nacional que impuso el gobierno federal fue poco a poco subordinando a grupos sociales que usaban el agua con métodos y sistemas de varios siglos de antigüedad. Con ello, se perdía todo un cúmulo diversificado de conocimientos sobre los usos y manejo del agua, heredados y transmitidos durante muchas generaciones:

“La enorme diversidad de productores agrícolas y núcleos y comunidades que aprovechaban las aguas bajo modalidades también variadas, tenían grandes conocimientos sobre la mejor forma de usar el agua: sabían cómo construir una presa con piedras y céspedes, cómo trazar un canal siguiendo el curso del agua, como limpiar y conservar las acequías y las tomas, y sobre todo cómo regar; sabían cuáles peces pescar y cuáles aves cazar en los lagos según la temporada del año; sabían hacer pronósticos del tiempo [las cabañuelas], eran capaces de localizar subterráneos mediante el método de la vara y también sabían construir pozos de profundidades considerables y cosas tan complicadas como las galerías filtrantes. Asimismo sabían conservar agua de lluvia, construir terrazas y almacenar aguas broncas. Estaban familiarizados con los temporales y de sus ancestros habían recibido noticias sobre inundaciones, crecientes, sequías” (Aboites:1998).

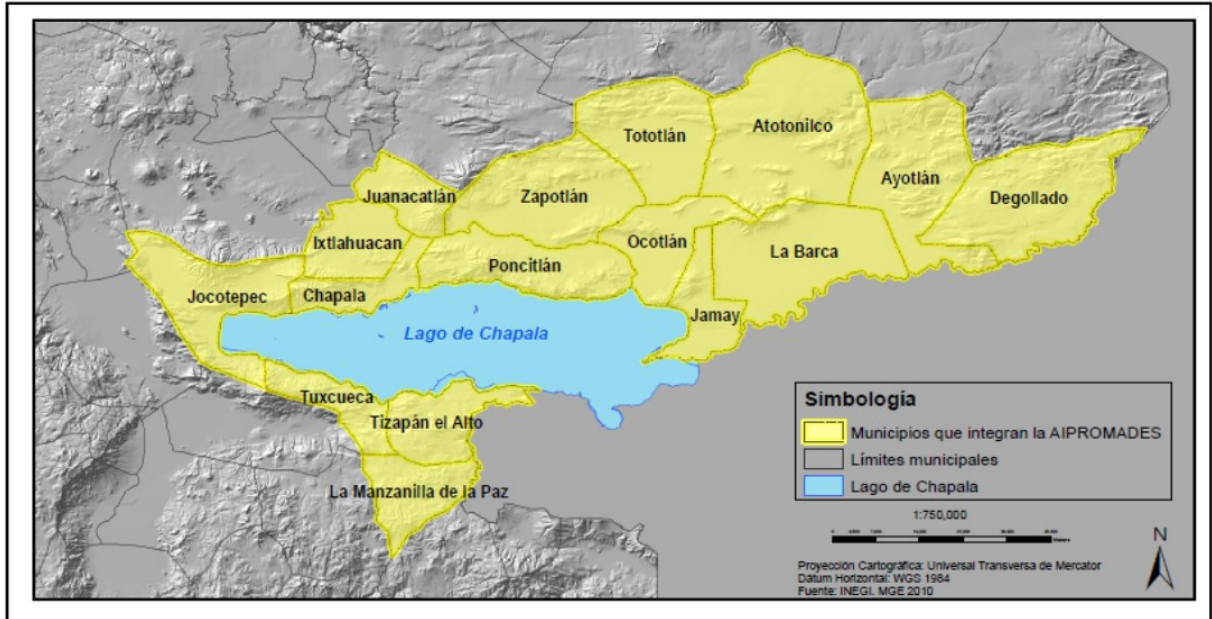
Este gran conocimiento que poseían las comunidades locales, contrastaba con el escaso conocimiento hidrológico del país que tenía la autoridad gubernamental y sus técnicos. Muestra de ese gran desconocimiento hidrológico, fue la suma de errores y veces en que se construyeron y tuvieron que reparar grandes obras hidráulicas, después de que la naturaleza les hacía ver su poder a través de las épocas de sequía y torrenciales lluvias e inundaciones que ocasionaron cuantiosas destrucciones. La base de la federalización se concretó en la creación y fortalecimiento de un cuerpo jurídico e institucional del agua que ha ido evolucionando en los últimos 100 años, en medio de contradicciones y cambios políticos.

Esta tendencia tuvo sus repercusiones en la cuenca Lerma Chapala Santiago, la cual en el último siglo y como producto de políticas externas se fue modificando hasta perder su condición originaria.

En la trayectoria del Lago Chapala se entrelazan dos historias. La historia natural con sus ritmos y procesos propios de transformación y la historia de la intervención humana principalmente externa. En esta última historia, los hombres han accedido al lago y la cuenca llevando consigo un bagaje de relaciones sociales, un mundo simbólico y un paradigma tecnológico, mismos que les han permitido causar desvíos, fragmentaciones, modificaciones y reacomodos que la naturaleza por sí misma no hubiera podido originar. Entre 1905 y 1910, se llevó a cabo la segregación de 50,000 Has del Lago Chapala para dedicarlas a la producción agrícola y se le quitaron 856 Mm<sup>3</sup> de almacenamiento de agua del lago. En 1953 se promovieron obras para la desecación parcial del vaso del Lago de Chapala y aunque esta no se hizo si se efectuaron obras que afectaron al Lago. En 1958, se sobreelevaron los diques de la Ciénaga de Chapala a la cota 100.50, logrando con esta medida que en 1967 el lago llegara a la cota 99.04, la más alta de su historia en 100 años, pero también una de las más dañinas por las inundaciones. Mientras ocurrían estas transformaciones en la cuenca del Lago Chapala, consejos y comités y comisiones iban y venían. De 1950 al año 2004 se crearon desde las instancias gubernamentales federales o estatales, más de 12 comisiones, comités o consejos de actuación enfocados a regular los aprovechamientos hídricos y el saneamiento de la Cuenca del Lago Chapala y del Lerma. Así también desde 1929 se elaboraron más de 16 estudios y diversos planes que no llegaron a aprobarse. En los últimos cincuenta años se han necesitado elaborar cuatro grandes programas o planes maestros y una estrategia (1964, 1993, 1996, 2001, 2009). La historia es que no obstante contar con un marco legal, con organismos y secretarías de estado vinculadas al manejo del agua, con grandes presupuestos reales y virtuales, con acuerdos, comisiones, estudios diversos, y con planes y programas de acción de corto, mediano y largo plazo, no se ha podido detener el proceso de degradación de la cuenca ni detener la amenaza de desecación del Lago Chapala (Pérez, 2004). A esto hay que sumarle los escenarios críticos que se pronostican en toda la cuenca Lerma Chapala Santiago ante los efectos del cambio climático y que hacen más vulnerable el recurso del agua.

## **AIPROMADES Y LA ACCIÓN LOCAL.**

La Asociación para la Protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala (AIPROMADES) emerge como una iniciativa desde lo local. Surge por la inquietud de presidentes y funcionarios municipales, quienes deciden organizarse en un inicio como Asociación el 30 de julio de 2009 con la participación de diez municipios. Posteriormente y con la concurrencia de seis municipios más se constituyen como Organismo Público Descentralizado el 21 de mayo de 2010. Esta iniciativa que contó con el apoyo de académicos y personal de SEMARNAT, es una respuesta a la necesidad de construir una nueva gobernanza ambiental en el lago de Chapala, un espacio objeto de atención y permanente estudio pero con esfuerzos hasta ese momento principalmente centralizados, sectorializados y parciales.



**Figura 1.** Municipios que conforman la AIPROMADES, Lago de Chapala

La importancia de la actuación en lo local radica en el hecho de que un proyecto liderado por actores y gobierno locales le da más legitimidad al proceso y tiene mayores posibilidades de concreción y de llegar a mejor fin. Asimismo se tiene el beneficio de que quienes participan forman parte de una comunidad con la cual se identifican e intervienen en parte de la vida y el destino de la comunidad, lo cual facilita el avanzar en procesos de sustentabilidad. En el documento de la Agenda 21 emitido en Rio de Janeiro 1992, se enfatiza la importancia de afrontar el reto de la sustentabilidad desde lo local. Se considera que las autoridades locales suponen un grupo clave a fortalecer porque tanto los problemas y soluciones de que se ocupa el Programa 21 se relacionan con las actividades locales.

*Las autoridades locales se ocupan de la creación, el funcionamiento y el mantenimiento de la infraestructura económica, social y ecológica, supervisan los procesos de planificación, establecen las políticas y reglamentaciones ecológicas locales y contribuyen a la ejecución de las políticas ambientales en los planos nacional y subnacional. En su carácter de autoridad más cercana al pueblo, desempeñan una función importantísima en la educación y movilización del público en pro del desarrollo sostenible.*

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, 1992.

Es el carácter local, el que convierte a AIPROMADES es una instancia con grandes potencialidades para la promoción de la sustentabilidad en la cuenca. De hecho, en toda la historia de intervenciones en la cuenca es la primera vez en que se logran conjuntar esfuerzos de dieciséis municipios alrededor de una iniciativa.

## **LA CONSTRUCCIÓN DE REDES INTERINSTITUCIONALES Y SOCIALES PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA DEL LAGO CHAPALA.**

La constitución de la AIPROMADES supuso la reunión de voluntades de los dieciséis presidentes municipales lo que planteó un reto en la construcción de relaciones de comunicación, entendimiento y cooperación para ir más allá de lo local y en sinergia con entidades de distintos niveles y ámbitos.

Desde su integración buscó la sinergia con instituciones ambientales gubernamentales estatales y federales: SEMADES, CEA y SEMARNAT, en Jalisco; y con instituciones académicas y de investigación: UDG, CIESAS, IPN, UNAM de Jalisco y Michoacán, e instituciones del estado de Michoacán, CEDEMUN y SUMA. Se creó un comité técnico-académico para la elaboración de un Plan Interestatal par la Sustentabilidad del Lago de Chapala que fue presentado al Congreso de la Unión y aprobado por éste el 27 de abril del 2010 por la LXI legislatura de la Cámara de Diputados. La aprobación del Plan possibilitó la consecución de recursos para poder iniciar los proyectos planteados en el mismo.

En Jalisco se le dio formalidad y legalidad a la asociación constituyéndose en un OPD, sin embargo en Michoacán no se pudo formalizar el proceso. No obstante, algunas instituciones estatales como el Centro Estatal para el Desarrollo Municipal (CEDEMUN) y la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) e investigadores del IPN y la UNAM con sede en Jiquilpan participaron en la elaboración del Plan y en las reuniones de trabajo con presidentes de Jalisco y Michoacán.

Las alianzas se plantearon desde el poder local hacia el estatal y federal para hacerse de recursos y poder poner en práctica lo planteado en el Plan interestatal. En ello fue fundamental la gestión que hicieron diputados (expresidentes municipales de la zona) ante el Congreso de la Unión, ya que lograron la asignación de recursos económicos que se ejercieron por la AIPROMADES con supervisión de la SEMARNAT y la SEMADES. Esta alianza de trabajo con los gobiernos estatal y federal a través de sus instituciones ambientales creó una dinámica de conjunción de esfuerzos que fueron dando frutos con la realización de proyectos concretos en los dieciséis municipios y a nivel regional.

Además de la alianza en sentido vertical, pero con el enfoque desde abajo hacia arriba, se buscaron alianzas horizontales con los pobladores locales de los municipios integrados en la Asociación. Esta sinergia gobierno – ciudadanía era esencial para darle soporte al proceso. Pero la participación tenía que ser real no limitarse a espacios de encuentro como es habitual, sino un trabajo de formación de ciudadanos para que tuvieran los elementos suficientes para llevar a la práctica lo proyectado en uno de los ejes del Plan Interestatal, el de educación y cultura ambiental. Se planteó a los gobiernos municipales la necesidad de invitar a pobladores de cada municipio para que se capacitaran a través del *Diplomado en Formación de Líderes en Desarrollo Local Sustentable* y también la formación de los funcionarios municipales encargados de las áreas de ecología, aseo público en el *Diplomado de Gestión Ambiental municipal y Sociedades Sustentables* para que pudieran trabajar en sintonía con los ciudadanos y ciudadanas líderes ambientales. En una segunda etapa se continuó este proceso de formación en el proyecto de *Desarrollo de capacidades y sinergias para la mitigación y*

*adaptación al cambio climático* en el que participaron los egresados de los dos diplomados ya que se trataba de poner en práctica los conocimientos adquiridos en una comunidad por municipio a través de un modelo de intervención integral en el que se da énfasis a la cultura ambiental para la participación social. En una tercera fase, a la que se incorporaron habitantes de las comunidades seleccionadas al proceso educativo, se siguió reforzando este modelo de gestión multiactoral de cooperación a través del proyecto de Comunidades Sustentables en Adaptación al Cambio Climático. Con este proyecto se incidió en el proceso de educación para la acción ambiental ciudadana a través de un aprendizaje mutuo con puestas en común de experiencias y conocimientos desde una visión holística de la sustentabilidad y un mayor reto como el de avanzar hacia la construcción de modelos de comunidades sustentables.

### **LA DINÁMICA EN LA TOMA DE DECISIONES DE LA AIPROMADES.**

El proceso de trabajo exigió a los presidentes municipales trascender las preocupaciones locales y caminar hacia una visión regional para poder dar solución a los problemas y alcanzar los objetivos planteados en la cuenca. Era necesario resolver problemas locales como el de la basura, pero los alcances trascendían el territorio local y las sinergias de trabajo ayudaban a conseguirlo de modo más rápido y eficiente. Además las fronteras administrativas no suelen coincidir con las naturales y los problemas están interrelacionados por lo que la gestión de un territorio requiere de una visión integral y multifuncional. Se imponía el trabajo cooperativo y la acción conjunta. Reconocieron las ventajas de solidarizarse gobiernos locales más fuertes con otros más vulnerables en las posibilidades de acción y consecución de recursos por su tamaño y número de habitantes.

Las decisiones han significado un proceso de aprendizaje y se ha avanzado hacia la toma de decisiones por consenso y en una cooperación equitativa. La AIPROMADES es dirigida por un Consejo de Administración que está integrado por los dieciséis presidentes municipales, el cual es presidido por un presidente municipal elegido cada 6 meses. Este consejo nombra para las cuestiones operativas a un Director General. Las decisiones se toman por votación, una representación un voto, excepto del director general que sólo tiene voz.

Para la operación de la AIPROMADES, cada municipio aporta el 0.001 de su presupuesto, esto representa mil pesos por cada millón recibido. De este modo el aporte de cada uno, está en función del tamaño del municipio y los recursos de que disponen. El ejercicio de estos recursos más la asignación de los recursos gestionados se vota ente todos. La distribución se ha hecho de forma tal que los municipios grandes ceden recursos a los pequeños. Esto es, los municipios medianos reciben recursos conforme su aportación, los grandes un poco menos de su aportación y los pequeños un poco más de su aportación. Este reparto se hace con el fin de que los pequeños se vean más beneficiados. En el reparto de los recursos del 2013, se siguió un esquema de reparto igualitario. Esta forma de asignar los recursos ha fortalecido la unión de sus asociados. Los recursos se destinan a proyectos locales y regionales. Se busca que haya convergencia en la aplicación de los recursos en una misma línea de tal forma que aun cuando hay un reparto municipal se fortalecen proyectos de mayor alcance. Esto no ha sido fácil, en este aprendizaje de trabajo conjunto y solidario hubo momentos de tensión y confrontación con la titular de la

Secretaría de Medio Ambiente estatal, por no tener en cuenta la asignación acordada de recursos federales a los proyectos propuestos por los municipios

Los presidentes que conformaron la AIPROMADES la constituyeron al final de su mandato por lo que demostraron su visión de futuro para institucionalizar un grupo que comenzaría a dar frutos en la siguiente administración municipal (2011-2013) en la que, al igual que en la anterior, se conjuntaban los esfuerzos de presidentes de tres partidos políticos diferentes (PAN, PRD y PRI) en alianza con un diputado federal. El inicio de nuevas administraciones locales en el 2013 y los cambios de gobierno estatal y federal supone un nuevo ajuste que implica un esfuerzo por trabajar conjuntamente y por alcanzar los acuerdos necesarios y establecer las alianzas con los gobiernos estatal y federal que permitan darle continuidad al proceso. A nivel de la AIPROMADES se mantiene la cooperación y la continuidad con el trabajo anterior a lo que ayuda la permanencia, por ratificación unánime, del Director General y su equipo y la alianza con un diputado federal que fue presidente de una de los municipios en la administración anterior. Respecto a los otros niveles de gobierno está en proceso la gestión con la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial y con la nueva administración de la SEMARNAT.

Por último cabe señalar la existencia de un ejemplo muy importante de hacer política pública. El grupo de trabajo operativo se reduce a cuatro personas. Esto es relevante ya que los recursos destinados a la administración son mínimos, por lo que el mayor porcentaje se enfoca a inversiones locales. Lo interesante de esta forma de operar es que en la práctica se trabaja con todo el personal de los dieciséis municipios. Dependiendo del tema se reúne a los directores vinculados a las tareas, se toman los acuerdos y todos son responsables de llevarlos a cabo. De esta forma cada acuerdo inmediatamente se convierte en política pública.

## **EL MODELO INTEGRAL DE SUSTENTABILIDAD COMO EJE DE ACCIÓN.**

La intervención en el territorio de los dieciséis municipios se sustenta en un enfoque en el cual la naturaleza y la sociedad se conciben como un todo integrado que aunque para efectos prácticos se aborda a partir de las partes, esto se hace sin perder la visión de conjunto. Se considera en este sentido que el todo es más que la suma de las partes en tanto que permite ir más allá de la fragmentación para ver el todo como una sola unidad. Esto significa que todas las partes cobran igual importancia y que están entrelazadas entre sí. La unidad la integran tanto la sociedad como la naturaleza concibiendo que la misma sociedad también sea naturaleza. Se avanza en esta unidad y sustentabilidad en la medida en que se logra potencializar los diferentes ejes señalados en la figura dos. La intervención también se sustenta en el enfoque de la Adaptación basada en los ecosistemas. De acuerdo con la IUCN (2012) esta es definida como la utilización de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas como parte de una estrategia más amplia de adaptación para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático y la problemática ambiental en general. En este sentido se considera que el manejo sostenible de la conservación y la restauración de ecosistemas provee servicios que ayudan a reducir la vulnerabilidad de las personas y los ecosistemas. Con la ventaja de que es accesible a las poblaciones rurales pobres, contribuye al



conocimiento tradicional y el local así como los valores culturales, además de que puede aplicarse a diferentes escalas desde lo local a regional, en el caso particular que nos ocupa de la cuenca del Lago Chapala.



**Figura 2.** Modelo de intervención de AIPROMADES para la sustentabilidad de la cuenca del Lago Chapala

## LA CONCRECIÓN DE LA POLÍTICA PÚBLICA

La AIPROMADES por gestiones propias de los presidentes municipales integrantes y ex-integrantes que pasaron a ocupar nuevos puestos de desempeño político, del período de 2010 al 2012 consiguieron recursos vía el Congreso de la Unión por un monto de \$113,502,800.00. Estos recursos fueron aplicados directamente por la Aipromades conforme las reglas establecidas para el ejercicio de recursos del Gobierno Federal y bajo la supervisión de SEMARNAT y SEMADES. Es importante señalar que en el 2011 también se consiguieron \$200,000,000.00 para saneamiento del agua, más los proyectos presentados por la AIPROMADES que presentaban propuestas innovadoras y de bajos y accesibles costos de mantenimiento para los ayuntamientos fueron archivados por la CONAGUA y la Comisión Estatal del Agua y por tanto estos recursos no se pudieron ejercer.

Los proyectos llevados a cabo en los distintos ejes son los que a continuación se señalan.

### Profesionalización y reglamentación municipal

PROYECTO	MONTO	MUNICIPIO	AÑO
Municipio con un desarrollo local sustentable (Cuadrante 4 de la Agenda desde lo local)	\$200,000.00	regional	2010
Reglamentos de ecología y medio ambiente para los municipio del OPD Aipromades Lago de Chapala	\$280,000.00	regional	2010
Profesionalización para el medio ambiente en los gobiernos municipales	\$200,000.00	regional	
Desde lo local: municipios promotores de la educación ambiental en la cuenca propia del lago de Chapala	\$1,460,000.00	regional	2011

### Cultura para la sustentabilidad local

PROYECTO	MONTO	MUNICIPIO	AÑO
Cultura para la sustentabilidad local: Diplomado formación de líderes en desarrollo local sustentable, diplomado de Gestión ambiental y sociedades sustentables, Talleres Agenda azul	\$1,400,000.00	La Manzanilla de la Paz, Jocotepec, Chapala, Ixtlahuacán de losMembrillos, Tizapán El Alto, Tuxcueca, Chapala, Poncitlán, Ocotlán, Jamay, Atotonilco, Zapotlán El Rey, Juanacatlán Ayotlán, Degollado, La Barca	2010
Desarrollo de capacidades y sinergias para la adaptación y mitigación al cambio climático en la cuenca propia del lago de Chapala	\$3,951,659.00	La Manzanilla de la Paz, Jocotepec, Chapala, Ixtlahuacán de losMembrillos, Tizapán El Alto, Tuxcueca, Chapala, Poncitlán, Ocotlán, Jamay, Atotonilco, Zapotlán El Rey, Juanacatlán Ayotlán, Degollado, La Barca	2011
Sociedades Sustentables en Adaptación al Cambio Climático	\$2,000,000.00	La Manzanilla de la Paz, Jocotepec, Chapala, Ixtlahuacán de losMembrillos, Tizapán El Alto, Tuxcueca, Chapala, Poncitlán, Ocotlán, Jamay, Atotonilco, Zapotlán El Rey, Juanacatlán Ayotlán, Degollado, La Barca	2012
Ecotecnologías	\$875,126.00	Ixtlahuacán de los Membrillos	2012

## Manejo integral del agua y residuos

Diagnósticos y programas para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos	\$1,650,000.00	Jocotepec, Chapala, Tizapán el Alto, Ixtlahuacán de los Membrillos, La Manzanilla de la Paz, Tuxcueca, Poncitlán, Ocotlán, Jamay y Zapotlán del Rey, Atotonilco el Alto, Degollado, La Barca, Tototlán, Ayotlán y Juanacatlán	2010 y 2011
Proyecto ejecutivo de la planta de recuperación de materiales, centro de acopio de la planta de compostaje	\$470,000.00	Chapala y Zapotlán del Rey	2010
Infraestructura para la recolección de los Residuos Sólidos Urbanos camiones recolectores-compactadores, vehículo para el manejo de residuos reciclables y contenedores.	\$39,926,829.16	Municipios de la Aipromades	2011
Estación de transferencia de residuos sólidos urbanos, Centros de Acopio y compostaje	\$15,822,039.00	Poncitlán, Atotonilco el Alto, La Barca, Degollado, Tizapán el Alto, Juanacatlán, Jamay, Zapotlán del Rey	2011 2012
Cierre y abandono de vertedero	\$1,412,366.00	Tizapán el Alto y Tototlán	2011

## Planeación, ordenamiento del territorio y áreas verdes urbanas

PROYECTO	MONTO	MUNICIPIO	AÑO
Programa de Ordenamiento Ecológico Local Municipal. Fases I a IV	\$5,800,000.00	Ocotlán, Ixtlahuacán de los Membrillos, Jocotepec.	2010, 2011
Programa de Ordenamiento Ecológico Local Municipal. Fases I y II	\$3,000,000.00	Poncitlán, Tuxcueca y Chapala	2012
Estudio Técnico Justificativo del Anillo Verde del Lago Chapala.	\$1,200,000.00	Regional	2012
Programa de aprovechamiento del proyecto de área estatal de protección hidrológica Cerro Viejo-Chupinaya Los Sabinos y Anillo Verde del Lago Chapala. Subprogramas de difusión, capacitación, interpretación	\$3,100,000.00	Jocotepec, Chapala, Ixtlahuacán de los Membrillos, Tlajomulco de Zúñiga, Tizapán El Alto, Tuxcueca, Chapala, Poncitlán, Ocotlán, Jamay, Atotonilco, Zapotlán El Rey.	2010 2011 2012

manejo e infraestructura .			
Parques lineales	\$21,849,574.00	Atotonilco el Alto, Ayotlán, Jamay, Nextipac y Zapotitán (Jocotepec), Jocotepec ,La Manzanilla de la Paz Ixtlahuacán de los Membrillos	2011 012
Luminarias led	\$5,163,265.84	Chapala y Tototlán	2012

### Conservación, restauración de ecosistemas y producción sustentable

Estudio Técnico Justificativo del Anillo Verde del Lago Chapala.	\$1,200,000.00	Regional	2012
Programa de aprovechamiento del proyecto de área estatal de protección hidrológica Cerro Viejo-Chupinaya Los Sabinos y Anillo Verde del Lago Chapala. Subprogramas de difusión, capacitación, interpretación manejo e infraestructura.	\$2,773,000.00	Jocotepec, Chapala, Ixtlahuacán de losMembrillos, Tlajomulco de Zúñiga, Tizapán El Alto, Tuxcueca, Chapala, Poncitlán, Ocotlán, Jamay, Atotonilco, Zapotlán El Rey, La Manzanilla de la Paz.	2010 2011 2012
Sendero interpretativo en la Sierra Cónairo Canales	\$2,646,600.00	Ocotlán. Comunidad de Rancho Viejo.	2011
Vivero	\$2,500,000.00	Ocotlán	2012
Parcelas demostrativas y proyectos agrosilvopastoriles .	\$327,000.00	Tlajomulco de Zúñiga, Ixtlahuacán de los Membrillos , Jocotepec, Chapala .	2012

## RETOS Y PERSPECTIVAS

A tan solo tres años de la conformación de AIPROMADES, se pueden corroborar algunos supuestos teóricos que sirvieron de base para el diseño de la estrategia de trabajo y política pública, como son los siguientes:

- 1.- La acción local se ha visto reforzada a partir de que se logrado en cada uno de los municipios conformar una base ciudadana que con orgullo se identifica como parte de AIPROMADES.
- 2.- Se ha conseguido mantener la unidad y toma de decisiones por consenso y de manera justa para todos los municipios aun cuando los presidentes municipales integrantes de la AIPROMADES son de partidos políticos diferentes.

3.- Se ha logrado avanzar de manera coordinada con las instancias de los tres niveles de gobierno, los municipios y las dependencias estatales y federales vinculadas con lo ambiental como lo son la SEMADES (hoy SEMADET ) y SEMARNAT.

4.- Desde lo local y con la actuación de actores políticos locales que logran el apoyo federal se ha podido hacer la gestión de los recursos económicos para el desarrollo del programa.

5.- Se ha podido avanzar en la estrategia integral, potencializando cada uno de los ejes de acción estratégicos.

Así también para que el programa tenga continuidad y se potencialice es necesario:

Establecer mecanismos para dar mayor certidumbre al funcionamiento de este tipo de organismos que dependen de alianzas coyunturales para hacerse de recursos para implementar proyectos.

Establecer por parte de los niveles de Gobierno estatal y federal lineamientos de programas de apoyo ambiental en el que se establezcan porcentajes para proyectos de alcance regional y de carácter ambiental no ligados necesariamente a la adquisición de bienes y servicios materiales.

Es necesario poner énfasis en la factibilidad y necesidad de la capacitación y el fomento de la cultura ambiental como un activo para transitar hacia la sustentabilidad para poder proponer proyectos con resultados a mediano y largo plazo.

Insistir en la valorización de los servicios ambientales de los ecosistemas y la necesidad y rentabilidad de su conservación y restauración.

Es necesario fortalecer en las instituciones los espacios de gobernanza, respetar la autonomía local y asegurar la participación de la sociedad en los procesos de sustentabilidad, lo que implica aprendizajes de ida y vuelta y cambios de actitud ya que se da una cierta desconfianza mutua e incluso recelo por parte de instituciones formales hacia organismos formales y no formales de participación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Aboites Aguilar, Luis (1998) . El agua de la Nación. Una historia política de México . Ciesas, México.

Pérez Peña, Ofelia (2004) Chapala, un lago que refleja un país. Política ambiental, acción ciudadana y desarrollo en la cuenca Lerma Chapala Santiago. Tesis para obtener el grado de Doctora en Ciencias Sociales con especialidad en Desarrollo Regional. Universidad de Guadalajara, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. Guadalajara.

PNUMA (2010) Adaptación basada en los ecosistemas. Portal regional para la Transferencia de Tecnología y la Acción frente al Cambio Climático en América Latina y el Caribe.

UICN (2012) Adaptación basada en ecosistemas. Una respuesta al cambio climático. UICN Quito Ecuador

# HACIA LA INSTRUMENTACIÓN DE POLÍTICAS AMBIENTALES CON ENFOQUE DE PAISAJE: CONSTRUCCIÓN DE ACUERDOS INSTITUCIONALES EN LA CUENCA DEL RÍO CUPATITZIO, MICHOACÁN

Faustino GÓMEZ SÁNTIZ<sup>1</sup>, Hilda R. GUERRERO GARCÍA-ROJAS<sup>2</sup>, Ángeles  
ALBERTO VILLAVICENCIO

<sup>1</sup>Maestría en Geografía Humana, El Colegio de Michoacán A.C. E-mail:

[gomezf@colmich.edu.mx](mailto:gomezf@colmich.edu.mx)

<sup>2</sup>Profesora investigadora, UMSNH, Morelia, Michoacán. E-mail: [hildaguerrero@fevaq.net](mailto:hildaguerrero@fevaq.net)

## RESUMEN

El reconocimiento de las amenidades ambientales del bosque en el área de la cuenca del río Cupatitzio fue lo que condujo a la Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Uruapan en conjunto con la Comisión Nacional Forestal a establecer un mecanismo de conservación de los recursos forestales basado en el esquema pago por servicios ambientales hidrológicos en el que las partes involucradas se comprometieron a conjuntar esfuerzos destinando más de 10 millones de pesos con el propósito de mantener la cobertura forestal, necesarias para el suministro de los servicios ambientales. Con el fin de determinar las posibilidades de integración de los actores locales para la gestión de los recursos, mediante un análisis institucional se determinó que en la Cuenca del río Cupatitzio, en Michoacán (y su área de influencia) puede ser una unidad adecuada para realizar la gestión ambiental, con enfoque de paisaje, debido a que presenta potencialidades no sólo por los bienes y amenidades ambientales que éste provee sino también por las aspiraciones de los actores a participar en acciones dirigidas al desarrollo sostenible. De este modo, la instrumentación de políticas ambientales como el mecanismo de pago por servicios ambientales hidrológicos puede resultar una herramienta importante para conciliar los intereses de los actores en el uso del recurso hídrico o forestal

**Palabras clave:** pago por servicios ambientales hidrológicos, acuerdos institucionales, políticas ambientales, actores locales

## 1 INTRODUCCIÓN

El reconocimiento de las amenidades ambientales del bosque en el área de la cuenca del río Cupatitzio fue lo que condujo a la Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Uruapan (CAPASU) a establecer un mecanismo de conservación de los recursos forestales basada en el pago por servicios ambientales hidrológicos en el que las partes involucradas (usuarios y proveedores del servicio ambiental) se comprometieron a conjuntar esfuerzos a fin de mantener la cobertura forestal necesarias para el suministro de los servicios ambientales.

La CAPASU, en conjunto con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), destina recursos monetarios a fin de preservar 2,550 hectáreas de bosque distribuidas en 6 comunidades de la parte

alta de la cuenca. El mercado local de PSA que se pretende generar, en la iniciativa de aquellos que lo promueven, no se circunscribe en el canje de mercancías; por ejemplo, en cantidad o calidad del agua, sino más bien financiamiento de usos del suelo que generen beneficios para la cuenca, visto a éste como una unidad paisaje donde se manifiestan la interrelaciones de los elementos que la conforman. De ahí que la valoración económica de los recursos naturales no trata de mercantilizar o asignar precios a los recursos cuyas características intrínsecas resulta de por sí invaluable, se trata de generar mecanismos de compensación congruentes a los beneficios que genera el servicio ambiental en el contexto de la cuenca que le permita a los propietarios del bosque generar alternativas de aprovechamiento basada en la autogestión de los sistemas ecológicos entre los actores involucrados.

Los planteamientos actuales sobre la implementación de un esquema local de PSA denominado “Fondo ProBosque y Agua de la Meseta Purépecha” no se limita al área de la cuenca, sino que alcanza la región Meseta (o Sierra) Purépecha donde existe una amplia cobertura forestal, de modo que podría decirse que: la Meseta es la proveedora de los SA mientras que la Cuenca son los usuarios (en su mayoría) del recurso hídrico.

El documento está estructurado en cuatro partes: la primera trata acerca de las consideraciones teóricas en el estudio de los recursos de uso común; la segunda parte presenta datos sobre los cambios en la población registrados de 1900 a 2010. En la tercera parte se aborda de manera general la caracterización física (vegetación y uso del suelo); en la última se integra la relación proveedores y usuarios del servicio ambiental hídrico a fin de conocer las potencialidades de generar mecanismos locales de pago por servicios ambientales. Referente al aspecto metodológico del trabajo, éste se estructuró en dos partes: la primera fue la revisión bibliográfica sobre estudios relacionados al área en estudio; el segundo consistió en la aplicación de encuestas semi-estructuradas a personajes clave (de instancias gubernamentales y no gubernamentales) relacionados a la gestión hídrica y del bosque, complementado con observaciones en campo.

## **2. CONSIDERACIONES TEORICAS EN TORNO A LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES**

Merino (2005) contempla tres supuestos para el desarrollo de esquemas de pago por servicios ambientales:

- i) La existencia de *instituciones* de distinta escala y la necesidad de desarrollo institucional en la construcción de esos esquemas (institución se entiende en este texto como reglas y acuerdos que rigen las acciones sociales).
- ii) El reconocimiento de la presencia e interacción de distintos actores y grupos de interés respecto de los bienes y servicios ambientales, de propietarios y usuarios en distintas ubicaciones y escalas y de gobiernos de distintos niveles. Se trata de grupos que reclaman derechos, poseen visiones e intereses diversos sobre los SA y los ecosistemas que los proveen y entre los que existen diferencias sociales y de poder.
- iii) Un último supuesto se refiere a la concepción de los SA como parte de un paisaje y un territorio, entendidos como construcciones sociales de la naturaleza, producto de la

relación histórica y presente que con ella mantienen las comunidades humanas, fundamentalmente las locales.

La rivalidad y competencia (entre los usuarios para acceder a los recursos naturales) y la necesidad de conservar el equilibrio de los ecosistemas naturales al interior de una cuenca puede generar conflictos que deriven en problemas de gobernabilidad de la región, de este modo, en la medida que se logre compatibilizar los intereses de los habitantes de las diferentes zonas funcionales y sus actividades productivas, la cuenca hidrográfica puede ser una unidad adecuada para realizar la gestión ambiental (Ver tabla 1 para más detalles sobre la conceptualización de cuencas hidrográficas).

**Tabla 1.** La cuenca como unidad de paisaje

Una *cuenca hidrográfica* es una porción de territorio drenada por un único sistema de drenaje natural que puede desembocar en un lago interior o en el mar, puede subdividirse en subcuencas, las cuales forman parte del sistema cuenca. Otra definición es que una cuenca hidrográfica es la zona geográfica en donde los escurrimientos de agua confluyen hacia un mismo punto en una corriente. Debido a esta característica, las cuencas hidrográficas son unidades naturales para el manejo de los recursos naturales y en particular del agua<sup>11</sup>. De igual forma, otra definición menciona que es un “área delimitada por divisorias desde las cuales escurren aguas superficiales o subterráneas hacia un río principal” (Lugo, 1989)<sup>12</sup>. Por otro lado, encontramos que una *cuenca hidrológica* es una zona delimitada topográficamente que desagua mediante un sistema fluvial, es decir la superficie total de tierras que desaguan en un cierto punto de un curso de agua o río. Constituye una unidad hidrológica descrita como una unidad físico-biológica y también como unidad socio-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales” (FAO, 1992). Otra definición, concíbela explica como la unidad del territorio, normalmente delimitada por un parte aguas o divisoria de las aguas, en donde el agua escurre en distintas direcciones y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal. Jiménez F. (2005), menciona que las cuencas hidrográficas “son los espacios geográficos, cuyos límites inician en las partes altas de las montañas conocidos como parte aguas y terminan en donde el agua de las precipitaciones que corren por un río principal llega al mar, lagos o embalses artificiales”. Asimismo, el autor distingue que una cuenca hidrológica, es un áreas mucho más grandes que una cuenca hidrográfica, “pues incluyen toda el área hidrogeológica subterránea que abarcan un manto acuífero. Una cuenca hidrológica puede incluir a varias cuencas hidrográficas”. En la Ley de Aguas Nacionales no se hace mención en cuanto a la distinción de estos conceptos. En ésta definen cuenca hidrológica al igual que una cuenca hidrográfica, referida anteriormente. Según Landa y Carabias (2008), generalmente, “la cuenca hidrográfica se refiere a la definición geográfica de la misma y la cuenca hidrológica se suele entender como una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrográfica”. De

<sup>11</sup> [http://www.wwf.org.mx/wwfmex/prog\\_cuencas.php](http://www.wwf.org.mx/wwfmex/prog_cuencas.php)

<sup>12</sup> <http://www.ine.gob.mx/dgioece/glosario.html>



acuerdo con la misma autora, “lejos de ser un asunto resuelto, la concepción y la delimitación de las cuencas es la manifestación de la incongruencia en la visión institucional sobre el manejo de un recurso natural de uso común, ya que diversas instituciones usan límites diferentes, generando confusión”. Sobre las definiciones mencionadas de cuenca hidrográfica e hidrológica Chapela indica que<sup>13</sup>:

*la definición de cuenca hidrológica es más integral que la de cuenca hidrográfica. Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicas integrales y además de incluir todo lo dicho en el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan también la estructura hidrogeológica subterránea de los acuíferos. En otras palabras, el concepto de cuenca hidrográfica hace referencia a la zona de escurrimiento superficial de las precipitaciones, mientras que el de cuenca hidrológica incluye también a las aguas subterráneas. Dependiendo de la geología del sitio, estas cuencas pueden ser diferentes, ya que en muchos sitios es normal que el agua subterránea se mueva en direcciones diferentes que la superficial y aflore en sitios diferentes a la de la cuenca donde cayeron las precipitaciones que la alimentan.*

Desde al ámbito de la cuenca, se conceptualiza dos tipos de bienes comunes: i) bosque y ii) agua, una a escala micro y otra a escala regional —con influencia a una escala mayor. El primero es sobre los bienes comunes forestales que están en la propiedad de ejidos y comunidades (limitaciones en su usufructo). El segundo es el agua, recurso cuyo derecho de apropiación está definido aunque no necesariamente distribuidos de manera equitativa. La importancia de reconocer a estos recursos como comunes apunta claramente una idea central, la importancia que tiene sus características para explicar los problemas de acción colectiva donde los actores involucrados, ubicados en varios niveles espaciales, son sumamente heterogéneos.

Esta consideración en torno a las características del recurso es tomada a partir de los planteamientos de Ostrom y sus colaboradores (Gibson, McKean, Ostrom, 2000) donde el término recursos o bienes comunes se refiere a las cualidades físicas de un recurso natural y no a las instituciones sociales o los seres humanos que se han unido a ellos. Se emplea el término propiedad común o régimen de propiedad común para referir a un arreglo de derechos de propiedad (o asignación) en la que un grupo de usuarios de recursos comparten derechos y deberes frente a un recurso. Éstos se refieren por lo tanto a las instituciones sociales y no a las cualidades inherentes naturales o físicas de los recursos.

Por lo tanto, lo que se plantea es la necesidad de desarrollar instituciones capaces de gestionar de manera colectiva los recursos cuya amenidad beneficia de manera directa o indirecta a la población local. Se trata entonces de conciliar los intereses (sobre todo el económico) de la variedad de actores que hacen uso y disfrute de los recursos comunes de manera diversificada: los bosques para productores madereros, resina, etc.; el agua para el riego, para el consumo urbano, etc. De este modo la creación de reglas institucionales deben ser compatibles con el contexto material del consumo (cercanía al recurso, grado de dependencia, etc).

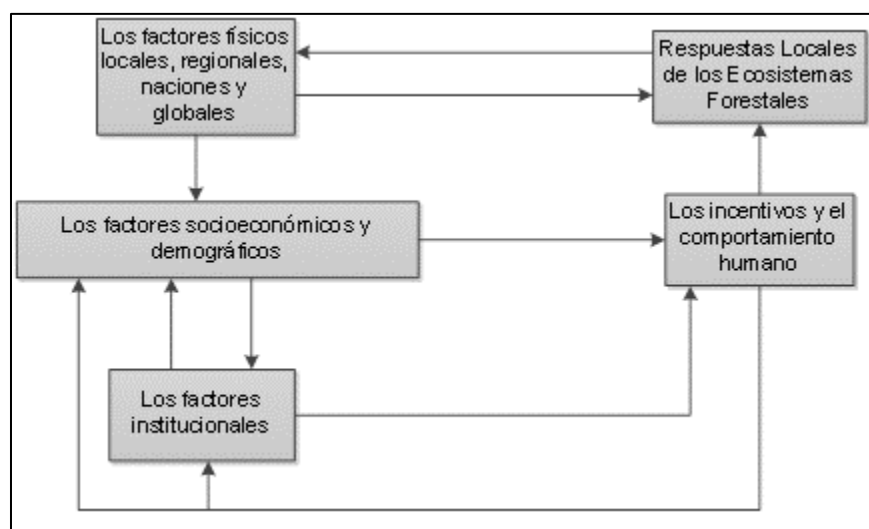
En ese sentido, la aplicación de instrumentos económicos puede ser un medio para la gobernanza ambiental entendida ésta como “la interacción entre instituciones [de distintas escalas], procesos y

---

<sup>13</sup> Comentarios vertidos al presente documento por Gonzalo Chapela y Mendoza en el marco del IV seminario de tesis del programa de Geografía Humana de El Colegio de Michoacán, A.C. presentando oralmente el día 10 de octubre de 2012.

tradiciones de cómo se ejerce el poder, cómo se toman las decisiones en torno a cuestiones de interés público y a menudo privado, y cómo es que los grupos interesados se hacen escuchar” (Brenner, 2010). Además Leeuwis y Van den Ban (2004, en Brenner 2010) señalan que una gobernanza efectiva requiere establecer un marco ampliamente aceptado que permita institucionalizar la interacción entre grupos interesados, negociar los intereses contrapuestos y mitigar los conflictos, para determinar así la forma en que se llevarán a cabo la toma de decisiones y el ejercicio del poder.

El marco de análisis desarrollado por Ostrom (2005), el Análisis y Desarrollo Institucional (IAD por sus siglas en inglés) se ha utilizado para estudiar cómo las instituciones afectan los incentivos y el comportamiento humano en la gestión de sistemas de recursos naturales compartidos a distintas escalas. En el centro del marco IAD son personas que tienen posiciones diferentes (usuarios de las amenidades ambientales, funcionarios forestales, propietarios de tierras, gobiernos locales, regionales, estatales o nacionales) que deben decidir sobre las acciones, que en su conjunto afectan el sistema de recursos que beneficia, por ejemplo, a una cuenca (las condiciones del bosque, la distribución de los beneficios de un bosque y costos). Para simplificar la representación, el complejo conjunto de incentivos y el comportamiento resultante está principalmente representada en la figura 1 como una sola caja. Esta caja, como todas las otras (sub)cajas en la figura 1, se puede abrir y contienen un conjunto anidado de otros cuadros conceptuales dentro de ella (Gibson, McKean y Ostrom, 2000).



**Figura 1.** El marco IAD sobre múltiples factores que afectan a los ecosistemas locales

En un entorno dinámico, la conducta humana impacta en los ecosistemas locales que también se ven afectados por (y afectan) factores físicos globales y locales (incluyendo la tecnología cambiante). Los incentivos y la conducta humana se ven afectados por factores socioeconómicos y demográficos, así como de los factores institucionales. Cada uno de los factores en el lado izquierdo

de la figura 1 se descomprime en un amplio conjunto de variables. Por ejemplo, los elementos de los factores institucionales que pueden afectar a los incentivos y el comportamiento humano (en un gran número de diversos entornos) incluyen variables en múltiples niveles. En un nivel micro:

- Reglas de uso del suelo en un ecosistema local, que difieren en cuanto a quién puede extraer el recurso hídrico (o forestal), cuándo y cómo, etc.
- Los métodos de vigilancia y sanción en el uso del agua (o bosque) y las prácticas de inversión en el mejoramiento de la calidad del recurso (en este punto entra el problema de los *free-riders*<sup>14</sup>)
- El grado de organización de los propietarios (o usuarios) en la gestión de los agua (o bosque) y el significado de esa organización en términos de incentivos individuales;
- Los representantes de los gobiernos locales, regionales o nacionales que participan en las actividades locales a fin de preservar el ecosistema.

A nivel macro:

- La legislación nacional especifica las condiciones de uso de los diferentes tipos de bosque. Lo anterior implica restricciones, o en su caso, subsidios en el uso de los sistemas forestales;
- Los tipos de derechos de propiedad y apropiación del sistema de recursos, sean privados o comunales.
- La capacidad de los tribunales para resolver las disputas sobre la tenencia de la tierra, los contratos relativos a concesiones, etc.

Una de las lecciones más importantes que se desprenden de la gestión de recursos de uso común es que ninguna solución es adecuada en todas las circunstancias. Si bien ciertos principios ecológicos y sociales pueden guiar en la comprensión de cómo funcionan las cuencas hidrográficas y cómo los humanos interactúan con ellos, estos principios nunca dirán todo lo que necesita saber acerca de cada cuenca, este entendimiento debe venir de una evaluación específica de los factores físicos, ecológicos, climáticos, sociales y económicos que configuran ese lugar particular y la sociedad. Los principios generales nos pueden guiar en la determinación de las instituciones y organizaciones apropiadas necesarias para administrar un sistema natural complejo, pero también hay que tener en cuenta las características culturales, sociales y económicas de las comunidades que mantienen directamente el vínculo con su recurso natural.

### 3 CARACTERÍSTICAS DE POBLACIÓN

¿Cuál es la relación entre la dinámica poblacional y los recursos naturales? sin duda, una de las cuestiones que aquí interesa detallar es describir los cambios de población ocurridos en la cuenca derivado de las distintas políticas, sobre todo la agrícola, que fue configurando una base poblacional —con actividades económicas específicas— en las distintas áreas climáticas que se identifican en la

---

<sup>14</sup> Es el comportamiento oportunista del individuo; Ostrom señala que “entre las múltiples expresiones utilizadas en español para la traducción de free rider, la más común es la de polizón. Aquí hemos preferido la expresión más latinoamericana de gorrón, porque creemos que es la que mejor capta el sentido de free rider; mientras que polizón alude a un viajero clandestino en una embarcación, gorrón hace referencia a alguien que vive por cuenta de oro. De todos modos, en la teoría de juegos free rider se refiere a alguien que no coopera”

cuenca, que va de la tierra fría a la tierra caliente, que en distintos momentos y espacios han afectado (y continúan afectando) la cobertura forestal.

### **3.1. DINÁMICAS DE POBLACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO CUPATITZIO 1900-2010**

#### **3.1.1. Localidades urbanas**

Según los datos del INEGI, en 2010 se registraron un total de 16 localidades urbanas<sup>15</sup> al interior de la cuenca con una población total de 393,282 habitantes, de estos 48% son hombres y 52% son mujeres. Desde 1900 estas localidades han sufrido muchos cambios, tanto en el tamaño de la población como en su estructura. En 1900, menos de un tercio de éstas eran consideradas localidades urbanas<sup>16</sup>. En concreto, solamente Taretan, Tingambato, Ario de Rosales y Uruapan eran localidades urbanas. En 1900, las tres áreas con mayor concentración poblacional eran Uruapan, Ario de Rosales y Tingambato con un total de 9,808, 3,979 y 2,564 habitantes respectivamente y concentraban el 73% de la población de la cuenca. Por su parte, en el mismo año, las comunidades rurales de mayor tamaño, como Angahuan y San Lorenzo, tenían 752 y 786 respectivamente. De las localidades urbanas registradas en 2010 (16 en total), en 1900 existían solamente 12<sup>17</sup>, las que no registraron población alguna fueron Nueva Italia, Lombardía, Santa Rosa y Caltzontzin. En el Censo de 1910, la población de la cuenca se incrementó en 17.24% respecto al censo anterior. En el mismo periodo, Nueva Italia y Lombardía tenían 1,517 habitantes que representaba cerca del 5% del total de población en ese año. El de mayor crecimiento fue Uruapan con una tasa de crecimiento del 34%. Las únicas localidades que tuvieron una tasa de crecimiento negativa fueron Angahuan (-24%), Taretan (-35%) y San Ángel Zurumucapio (-0.91%) Cuando se levantó el Censo de Población en 1921, todas las localidades excepto Nueva Italia habían registrado un descenso (en términos absolutos y relativos) en la población respecto al periodo anterior, gran parte ocasionado por la Revolución Mexicana. Según los datos, las localidades que más población perdieron son las que se caracterizan por ser localidades indígenas. En el periodo 1950-1980, las localidades con mayor crecimiento porcentual fueron Nueva Italia y Uruapan triplicando el tamaño de su población en relación a 1950. De hecho este es el periodo de mayor crecimiento que se vincula con el auge de la actividad económica en la región, esto en cuanto a la introducción de plantaciones de aguacate y el crecimiento de las áreas agrícolas de riego, además del aumento de la explotación forestal. Un claro ejemplo de cómo los proyectos de irrigación incidieron en la dinámica y crecimiento de la población en la cuenca es la formación de la localidad de Santa Rosa que se dio durante el desarrollo de los proyectos de la Comisión de Cuenca del Rio Tepalcatepec, en la actualidad, en dicha localidad se ubica el área de la Unidad de Riego “Santa Bárbara” que cuenta con una extensión territorial de 5041 hectáreas. Hasta 2010, la población total en las áreas urbanas de la cuenca alcanzó un total de 393,282 habitantes siendo la de mayor tamaño la ciudad de Uruapan (Tabla 2).

<sup>15</sup> Uruapan, Ario de Rosales, Tingambato, Taretan, Nuevo San Juan Parangaricutiro (antes Parangaricutiro), Ziracuaretiro, Nuevo Urecho, San Ángel Zurumucapio, Capácuaro, Nueva Italia de Ruiz, San Lorenzo, Lombardía, Angahuan Toreo el Bajo, Santa Rosa y Caltzontzin (antes Paricutín)

<sup>16</sup> Siguiendo la clasificación del INEGI, se consideran localidades urbanas aquellas con más de 2500 habitantes.

<sup>17</sup> Por varios factores: 1) no se censó o 2) no había registro de la localidad.

**Tabla 2.** Crecimiento de la población en áreas urbanas 1900-2000

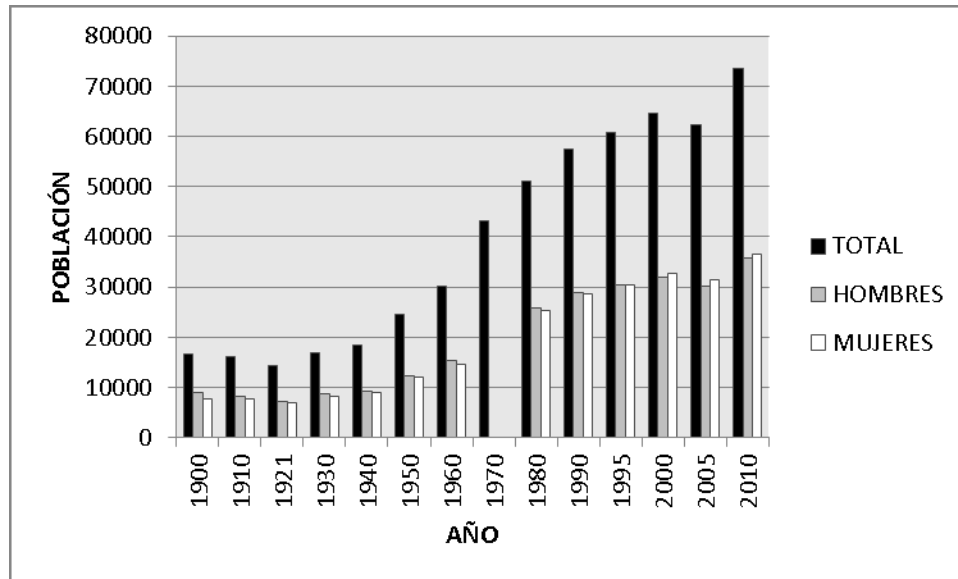
Localidad urbana	1910-1900		1921-1910		1930-1921		1940-1930		1950-1940		1960-1950	
	C*	%	C*	%	C*	%	C*	%	C*	%	C*	%
Nueva Italia	795	ND	669	84	672	46	1610	75	1005	27	4145	87
Lombardía	722	ND	-722	-100	1399	ND	-1028	-73	2416	651	1281	46
Santa Rosa	0	ND	0	ND	0	ND	11	ND	-2	-18	-9	-100
Caltzontzin	0	ND	0	ND	0	ND	280	ND	573	205	-176	-21
Toreo Bajo	26	17	40	22	-7	-3	40	19	5	2	57	22
Angahuan	-182	-24	-92	-16	271	57	349	47	40	4	317	28
Capácuaro	93	12	-409	-47	273	59	51	7	353	45	531	47
San Lorenzo	6	1	-258	-33	187	35	-146	-20	331	58	372	41
Zurumucapio	-9	-1	-249	-26	153	21	90	10	78	8	343	33
Nuevo Urecho	46	5	-275	-26	167	21	-150	-16	216	27	-102	-10
Ziracuaretiro	51	4	23	2	90	7	154	11	-284	-19	287	23
San Juan P.	41	2	-181	-10	-48	-3	371	24	385	20	731	32
Tingambato	852	33	-1350	-40	336	16	366	15	155	6	447	15
Taretan	-1187	-35	-293	-13	301	16	-368	-17	222	12	237	12
Ario de Rosales	84	2	300	7	669	15	892	18	726	12	2611	39
Uruapan	3341	34	540	4	3024	22	3870	23	10837	53	14307	46
Localidad urbana	1970-1960		1980-1970		1990-1980		2000-1990		2010-1990		Población total 2010	
	C*	%	C*	%	C*	%	C*	%	C*	%		
Nueva Italia	5822	65	6521	44	5769	27	3500	13	1959	6	32,467	
Lombardía	-553	-14	4917	140	1771	21	920	9	1487	13	12,610	
Santa Rosa	19	ND	243	1279	8	3	38	14	3314	1076	3,622	
Caltzontzin	618	91	671	52	1179	60	858	27	1133	28	5,136	
Toreo Bajo	55	18	78	21	572	128	1107	109	1517	71	3,642	
Angahuan	307	21	215	12	1018	51	1744	58	1034	22	5,773	
Capácuaro	592	35	949	42	1962	61	1923	37	329	5	7,424	
San Lorenzo	359	28	148	9	882	49	849	32	455	13	3,971	
Zurumucapio	335	24	-121	-7	1379	86	587	20	882	25	4,453	
Nuevo Urecho	-29	-3	-81	-9	373	46	188	16	-45	-3	1,325	
Ziracuaretiro	89	6	-38	-2	959	60	5	0	292	11	2,842	
San Juan P.	1678	56	2084	44	2992	44	2218	23	2789	23	14,772	
Tingambato	90	3	1223	35	730	16	753	14	1605	26	7,771	
Taretan	1660	72	1503	38	676	12	149	2	157	2	6,440	
Ario de Rosales	-487	-5	1637	19	2638	25	1160	9	2386	17	16,595	
Uruapan	36950	81	40151	49	64795	53	38193	20	38623	17	264,439	

\*C: refleja el número de habitantes que se integraron respecto al periodo base.

### 3.1.2. Localidades rurales

En el Censo de Población de 1900, en la CRC se registró un total de 84 localidades rurales con un total de población de 16,564 habitantes, en términos porcentuales, hombres y mujeres ocupaban 54% y 46% del total, respectivamente. Al finalizar la primera mitad del siglo XX, la población total en las comunidades rurales se había incrementado en un 48% al pasar de 16,564 en 1900 a 24,506 habitantes en 1950.

Las etapas con mayor crecimiento poblacional fueron los registrados en el periodo 1940-1950 y 1960-1970 (figura 2), en ellas se registró un incremento de población del 33% y 43% respectivamente que también se relaciona, en parte, con el auge de las actividades agrícolas; en el primer periodo, la influencia de la Comisión de Cuenca del Río Tepalcatepec (véase Barkin, 1978), y el segundo, los cambios acaecidos derivado del boom de la producción aguacatera en la parte media de la cuenca (tierra templada).



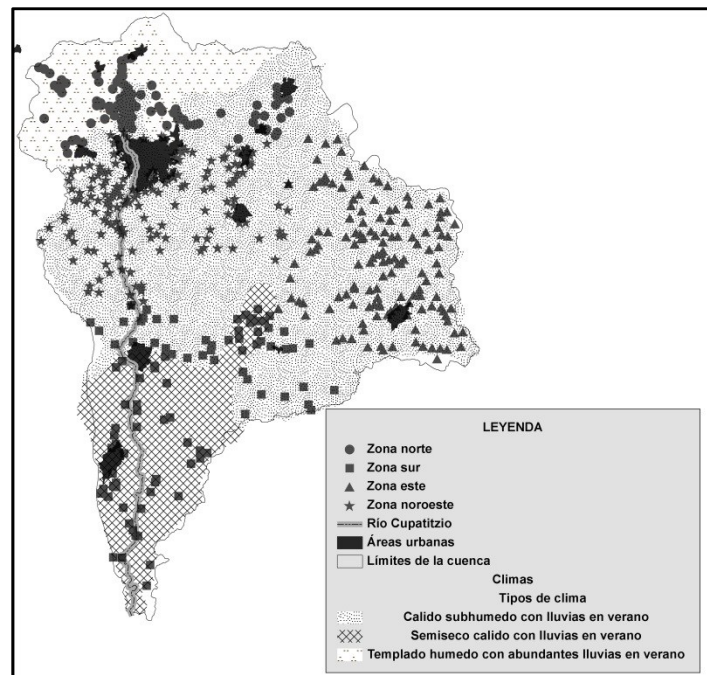
**Figura 2.** Crecimiento absoluto de la población en localidades rurales de la CRC 1900-2010

Asimismo, derivado de los cambios poblacionales en la cuenca, se comenzó a ejercer una fuerte presión sobre los recursos forestales para la fabricación de embalajes con la finalidad de sostener a la cada vez más creciente población, en particular la población rural que es donde están las mayores extensiones de cobertura forestal. Por ejemplo, de la población existente en 1900, para la mitad del siglo XX la población en estas áreas se había incrementado en casi 50%, no obstante, el número de localidades o asentamientos se había incrementado en un 120%. Para el año 2010, el número de localidades llegó hasta 518, 124% más que en 1980, y 182% más que en 1950. No obstante, respecto a la población se determinó que en el periodo 1980-2010 la población se incrementó en 44%, mientras que de 1950-2010 aumentó en casi 200%. Lo anterior muestra claramente los cambios en la dispersión de la población rural durante más de un siglo (al incrementar el número de habitantes produjo un incremento en el número de asentamientos o localidades).

Se ha clasificado 4 áreas a fin de determinar las áreas con mayor concentración poblacional en las localidades rurales (figura 3):

- En la zona norte se estima que aproximadamente 107 localidades con un total 9 199 habitantes (4 382 hombres, 4 520 mujeres)
- En la zona sur hay cerca de 94 localidades con un total de 17 419 habitantes (8 623 hombres, 8 611 mujeres)
- En la zona noroeste se calculó que hay aproximadamente 25 000 habitantes distribuidos en 173 localidades (12 177 hombres, 12 527 mujeres)
- En la zona este hay aproximadamente 141 localidades con un total de 22 164 (10845 hombres, 11 175 mujeres)

En cada una de estas áreas se caracterizan por tener diferentes usos de suelo (con tipo e clima diferente). La zona norte es más la presencia de bosques (pino y encino) y cultivos de temporal (maíz); la zona sur predomina los usos de suelo para agricultura de riego (limón, melón, mango); en la noroeste y este predomina las plantaciones de aguacate y es parte del área llamada la franja aguacatera de Michoacán donde precisamente es el área de mayor concentración de localidades y población.

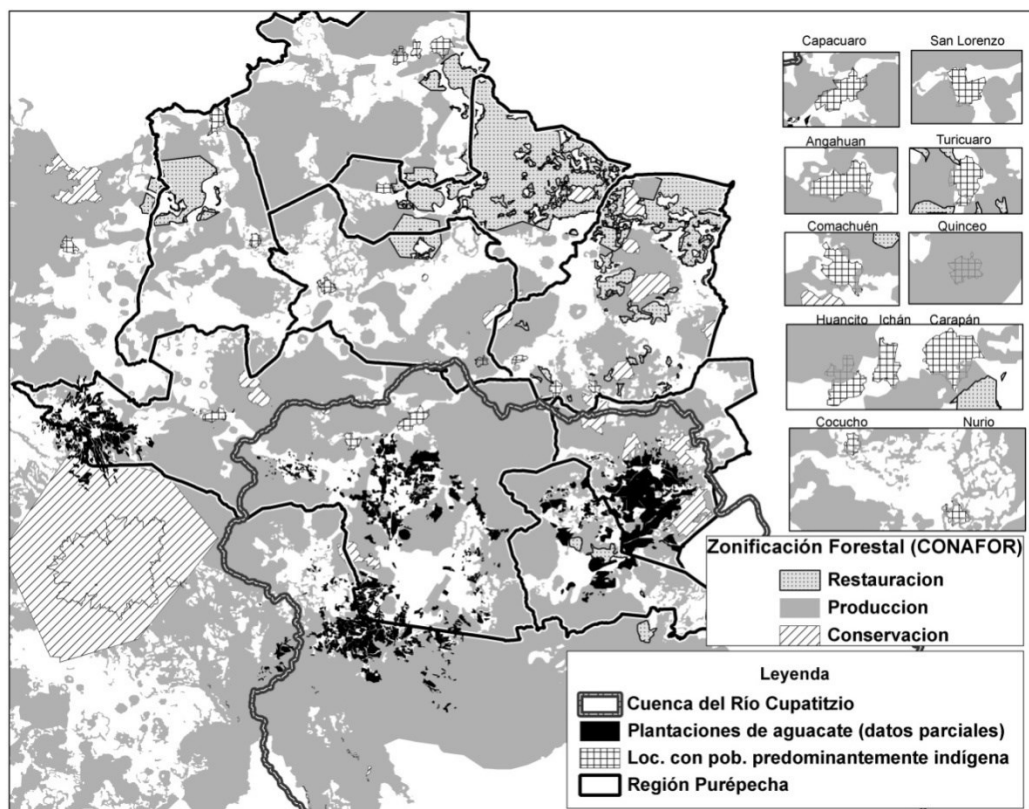


**Figura 3.** Localidades rurales

### 3.1.3. Localidades con predominancia indígena en el área de influencia de la cuenca del río Cupatitzio

En la parte alta de la cuenca es donde se ubican asentamientos con poblaciones predominantemente indígenas. Al igual que éstos forman parte de la CRC también están ubicados en lo que se ha llamado el balcón de la Meseta Purépecha frente al volcán Parícutín. En la región Purépecha, según los datos del INEGI del Censo 2010, se ubican en total 30 localidades (con más de 2500 habitantes) con población indígena. De éstas, son 15 las localidades que tienen 50% o más de población indígena. La población total en los hogares censales indígenas es de 79,222 habitantes, de los

cuales, las localidades predominantemente indígena aglomeran el 74.10% de la población. En el área de la cuenca son dos los asentamientos humanos con predominancia indígena: San Lorenzo y Angahuan. No obstante, es importante mencionar que si bien algunos asentamientos quedan fueran de los límites territoriales de la cuenca, sus tierras sí están dentro del área de la cuenca o de manera parcial (figura 4).



**Figura 4.** Localidades con población predominantemente indígena en áreas potenciales de PSA

## 4 ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

### 4.1. VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO

Según los datos estimados por la Comisión Forestal de Estado de Michoacán (COFOM), los tipos de vegetación y uso del suelo que predominan en la cuenca del río Cupatitzio son los bosques de pino-encino (parte alta de la cuenca) y las huertas (predominantemente plantaciones de aguacate en la parte media y plantaciones de limones en la parte baja). La superficie total de los bosques de pino-encino es de 47,312 hectáreas, este representa el 19.20% del total de vegetación en el área. Los cambios en el uso del suelo son notables en la parte media (o templada) y baja (tierra caliente). Los huertos frutícolas ocupan en total un área de aproximadamente 46,082 hectáreas siendo éste el 18.99% del total del área. Es sobre éste donde el cambio de uso del suelo ha sido más evidente en los últimos 50 años incidiendo en la disminución de la masa forestal derivado del aumento de la



demanda de cajas de empaque y otros productos madereros. Un dato relevante de las estimaciones de la vegetación y uso del suelo es la mostrada por la vegetación secundaria, 8.67% del total de vegetación, que son signo de la deforestación (tala clandestina) registrada en la cuenca (tabla 3)

**Tabla 3.** Vegetación y uso del suelo 2010

TIPO DE USO	SUPERFICIE (HA)	%
Bosque de pino –encino (encino pino)	47,312	19.50
Huertas	46,082	18.99
Selva baja	35,485	14.62
Vegetación secundaria	21,042	8.67
Agricultura de temporal	19,549	8.06
Bosque de pino	19,129	7.88
Agricultura de riego	16,741	6.90
Bosque de encino	10,727	4.42
Pastizal inducida	8,148	3.36
Asentamiento humano	7,842	3.23
Erosión	7,751	3.19
Bosque mesófilo de montaña	2,011	0.83
Banco de material	544	0.22
Lava volcánica	238	0.10
Cuerpos de agua	45	0.02
TOTAL	242,646	100

Un estudio sobre los cambios de uso de suelo y vegetación en la CRC realizado por M. Bravo-Espinosa et al (2012) indica que los cambios más drásticos en cuanto a tipo de vegetación son los bosques mesófilos de montaña, bosques de pino y encino (encino-pino) (tabla 4).

En términos porcentuales los mayores cambios negativos en la cobertura vegetal son los bosques de pino con una reducción de 24% en el periodo 1975-2008; en ese mismo periodo los bosques mesófilos de montaña se redujeron en 44.8%; también se registra una reducción de la cobertura vegetal de la parte baja de la cuenca (selva baja caducifolia).

A medida que la cobertura forestal tendió a disminuir (más de 10,000 hectáreas en un periodo de 33 años) la superficie agrícola (incluyendo la plantaciones de aguacate) tendió a aumentar, así como también las áreas de pastizal inducido y asentamientos humanos. Los cambios más recientes son los registrados en la parte noroeste de la cuenca donde en la década de los sesenta las plantaciones de aguacate comienzan a cubrir el paisaje de la zona, derivado de la crisis en los precios de productos

agrícolas del valle de Apatzingán. Durante el auge de la actividad en esta área, entre 1950 y 1965, la superficie cultivada pasó de 14,366 hectáreas a 73,355 respectivamente. En ese mismo periodo los cultivos dedicados a la exportación pasó de 8% a 53.2% respectivamente (Duran & Bustin, 1986).

Por su parte, la disminución de la cobertura vegetal de la parte baja (selva baja caducifolia) y su conversión en áreas agrícolas de riego y riego eventual obedecen principalmente a las políticas de irrigación y poblamiento iniciado en la década de los cuarenta mediante el proyecto de desarrollo regional de la Comisión de Cuenca del Río Tepalcatepec. Pero posterior a la crisis del algodón y melón que se dio a principios de los sesenta (principales productos de exportación), los intermediarios de la producción agrícola y empresarios locales trasladaron su capital invertido en el Valle de Apatzingán a Uruapan, donde incursionaron en la plantación de huertas de aguacate. Algunos de estos empresarios locales también incursionaron en la nueva actividad, retirando parte de su capital de áreas como la explotación de madera y resina para destinarlo a la producción aguacatera. (Mendoza Arroyo, 2002)

**Tabla 4. Cambios en el uso del suelo y vegetación en la CRC 1975-2008**

Comunidades de uso del suelo y vegetación	Área (ha)			Cambio porcentual			Cambios en términos absolutos (ha)		
	1975	2003	2008	1975-2003	1975-2008	2003-2008	1975-2003	1975-2008	2003-2008
Bosque mesófilos de montaña	1835.3	1027.2	1013.8	-44.0	-44.8	-1.3	-808.1	-821.5	-13.4
Bosques de abeto		387	410			5.9	387.0	410.0	23.0
Bosques de pino	28857.7	21827	21872.9	-24.4	-24.2	0.2	-7030.8	-6984.8	46.0
Bosques de encino	10390.6	12097	18508.3	16.4	78.1	53.0	1706.8	8117.7	6410.9
Bosque pino-encino (encino-pino)	86021	71624	62688.4	-16.7	-27.1	-12.5	-14396.8	-23332.6	-8935.8
Selva baja caducifolia y sub-caducifolia	41151.4	33923	30315	-17.6	-26.3	-10.6	-7228.3	-10836.4	-3608.1
Agricultura de temporal	69035.6	74411	87281.4	7.8	26.4	17.3	5375.5	18245.8	12870.3
Agricultura de riego y riego eventual	29012.9	38184	32592.5	31.6	12.3	-14.6	9171.0	3579.6	-5591.4
Pastizal inducido	14006.1	21125	18004.1	50.8	28.5	-14.8	7118.4	3998.0	-3120.4
Suelo desnudo		201.1	192.4			-4.3	201.1	192.4	-8.7
Asentamiento humano	1166.5	6101.7	7916.8	423.1	578.7	29.7	4935.2	6750.3	1815.1
Cuerpos de agua		569.1	681.6			19.8	569.1	681.6	112.5
Total	281477	281477	281477						

## **5 PROPIETARIOS DE TIERRAS FORESTALES Y USUARIOS DEL SERCVICIO AMBIENTAL**

### **5.1. ÁREAS DE SUMINISTRO DEL SERVICIO AMBIENTAL DEL BOSQUE**

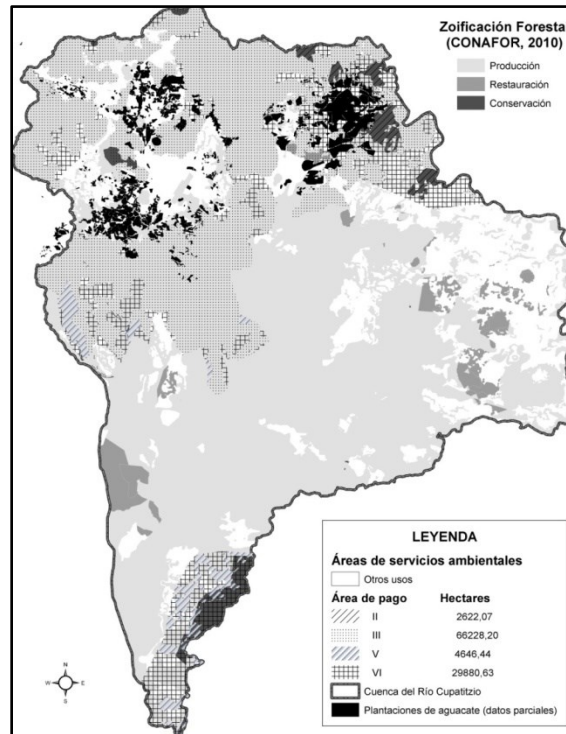
Según los datos de la CONAFOR, el área potencial para el pago por servicios ambientales abarca un total de 103,337 hectáreas de bosque (principalmente de pino-encino) ubicados principalmente en la parte media y alta de la cuenca. Según los criterios de pago que CONAFOR presenta, el área III es la de mayor extensión con 66,228 hectáreas, no obstante, las áreas de PSA no implica un 100% de cobertura forestal, más bien es preferentemente forestal, es decir, los polígonos susceptibles de PSA tienen entre 70 u 80% de cobertura forestal (Figura 5).

En la mayoría de las áreas susceptibles de PSA, la intrusión del cultivo de aguacate se ha hecho presente en los últimos 10 años. Los cambios más notables han sido en la parte alta, en particular en las áreas aledañas a las comunidades que forman parte del acuerdo para el PSA-H.

Si se pretendiera compensar a los poseedores del bosque que proveen servicios ambientales, los interesados (usuarios directos e indirectos del servicio ambiental) tendrían que transferir más de 37 millones de pesos al año para conservar más de 103 mil hectáreas de bosque<sup>18</sup>, en su mayoría de pino-encino. En la actualidad la mayoría de los esquemas de PSA implementados tiene un periodo de aplicación de cinco años, por lo que la aportación total para conservar estos valiosos recursos en el área ascendería a más de 186 millones de pesos, esto sin considerar los costos de oportunidad reales en el contexto de la cuenca. En estas áreas, los ejidos y comunidades cubren un porcentaje importante de las superficies forestales susceptibles de PSA. No obstante, siendo estas tierras de uso común, en los últimos años el fraccionamiento de estos terrenos se ha incrementado.

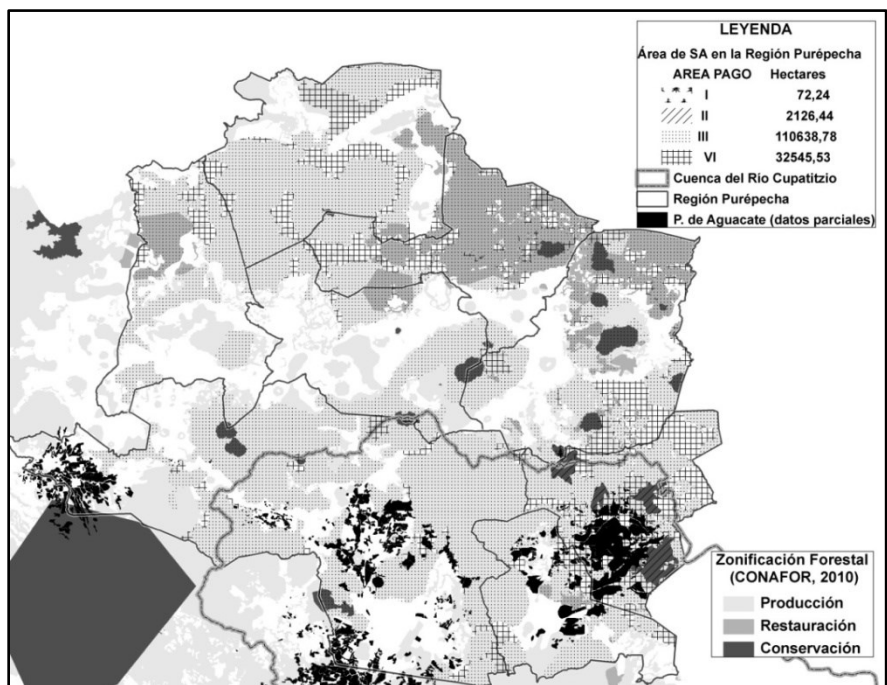
---

<sup>18</sup> Con la condición de que el pago por hectárea queda establecido a partir del costo de oportunidad de una hectárea de maíz de temporal.



**Figura 5.** Áreas con potencial de PSA-H en la Cuenca del Río Cupatitzio

Por otro lado, en la región purépecha, el área con potencial de PSA es de 145,382 hectáreas (figura 6) siendo en su gran mayoría áreas que proveen servicios ambientales hidrológicos (77.6%). Si a los dueños del recurso forestal se les pagara para conservar sus bosques, la cantidad necesaria para cubrir la totalidad del área forestal en la región sería de más de \$52 millones 900 mil por año, que llevado a cinco años da un total de \$264, 721, 810. En esta área, la mayor parte de las zonas forestales están en propiedad comunal siendo la comunidad de Cheran Keri la de mayor extensión forestal (aproximadamente 16,000 hectáreas).

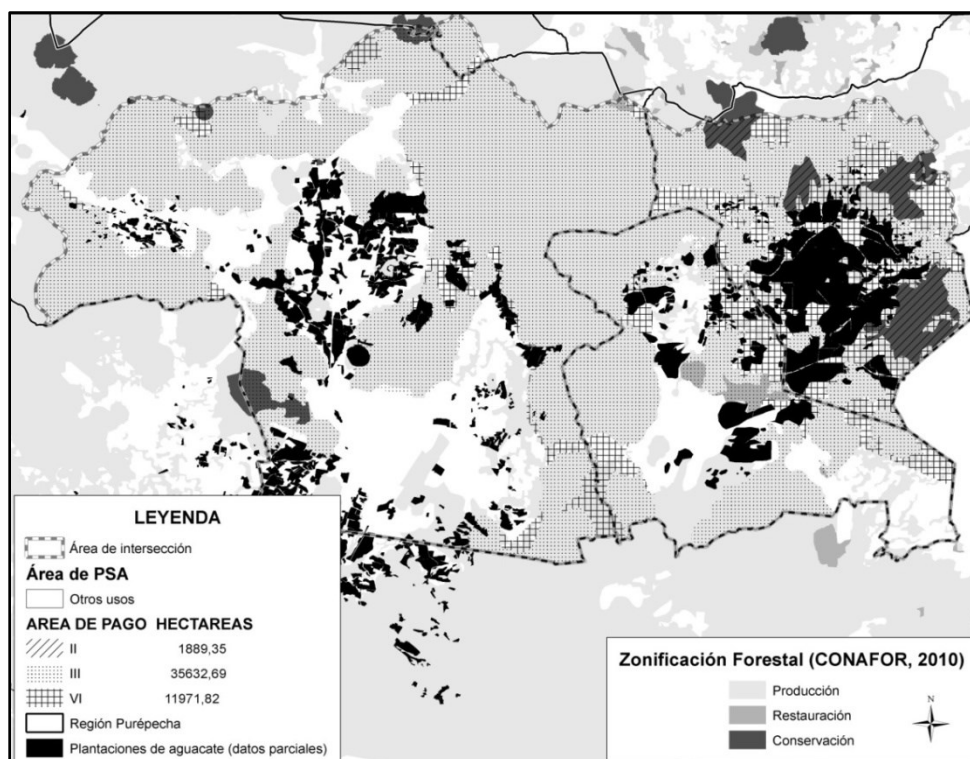


**Figura 6.** Área con potencial para el PSA en la región Purépecha

En el área de intersección de la región Purépecha y de la Cuenca del Río Cupatitzio son más de 49 mil hectáreas de bosque las que Conafor contempla para PSA (figura 7, tabla 5). Un porcentaje importante de las áreas para PSA son propiedad de cinco comunidades, cuatro de ellas insertas al esquema de pago por servicios ambientales que actualmente se implementa mediante fondos concurrentes.

Desde que se creó el esquema de PSA (de 2003 a 2011), 31 comunidades y ejidos de la región purépecha han solicitado ante CONAFOR, (en su vertiente de Conservación Forestal<sup>19</sup>) recursos monetarios para conservar sus bosques, tal es el caso del Programa Federal Forestal Meseta Purépecha que destinó en 2011 más de 16 millones de pesos para realizar actividades de restauración, reforestación y conservación en cerca de 1500 hectáreas, destinando en promedio \$10,838 pesos por hectárea.

<sup>19</sup> El programa ProÁrbol tiene dos vertientes: 1) Desarrollo Forestal y 2) Conservación; en esta última es donde está el Programa de Pago por Servicios Ambientales del Bosque. Es importante comentar que desde el 2007, todos los programas de PSA se encuentran dentro del programa rector ProÁrbol, el cual contempla muchas otras acciones como reforestación, conservación de suelos, manejo de bosques, plantaciones forestales, tecnología de la madera, capacitación, divulgación, investigación, transferencia de tecnología, etc



**Figura 7.** Área de intersección entre la CRC y la región purépecha

**Tabla 5.** Áreas y pagos potenciales en la CRC y en la región purépecha por servicios ambientales.

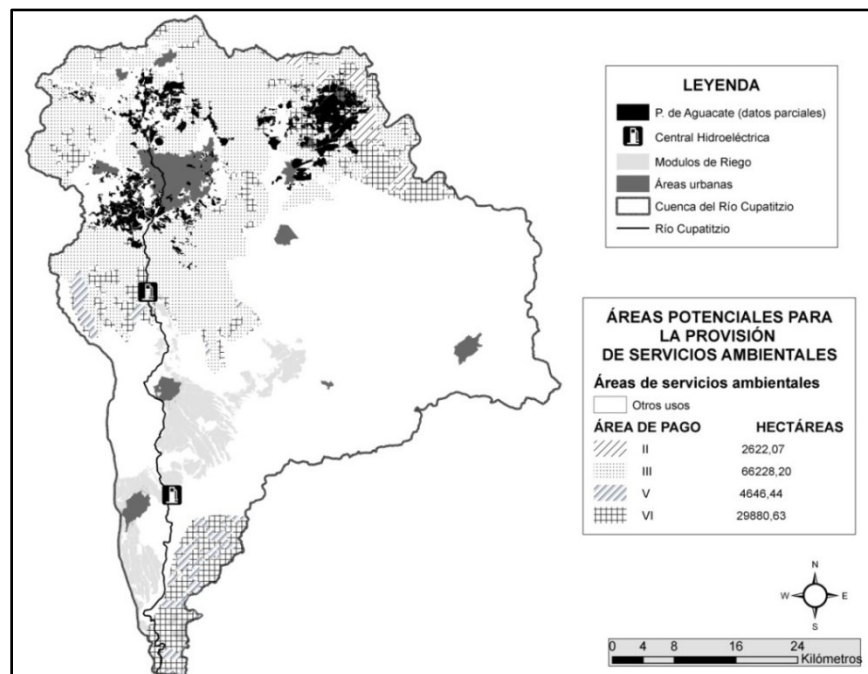
AREA*	PSA/HAS/AÑO (\$)	MESETA PURÉPECHA		CUENCA DEL RIO CUPATITZIO (HAS POTENCIALES PARA PSA)		INTERSECCION	
		HAS POTENCIALES PARA PSA	PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES (\$ POR AÑO)** (Pagos anuales)	HAS POTENCIALES PARA PSA	PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES (\$ POR AÑO)** (Pagos anuales)	HAS POTENCIALES PARA PSA	PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES (\$ POR AÑO)** (Pagos anuales)
I	1100	72.24	79,464		0		0
II	700	2126	1,488,200	2622	1,835,400	1889	1,322,300
III	382	110639	42,264,098	66228	25,299,096	35633	13,611,806
IV	550		0		0		0
V	382		0	4646	1,774,772		0
VI	280	32545	9,112,600	29881	8,366,680	11972	3,352,160
<b>TOTAL</b>		<b>145,382</b>	<b>\$52,944,362</b>	<b>103,377</b>	<b>\$37,275,948</b>	<b>49,494</b>	<b>\$18,286,266</b>

\*Las áreas I, II y III corresponden a las áreas de servicios ambientales hidrológicos. Las áreas IV, V y VI son por biodiversidad.

\*\*Son los pagos que se tendría que destinar si se quisiera cubrir la totalidad de las áreas potenciales de PSA

## 5.2. GESTORES Y USUARIOS DEL SERVICIO AMBIENTAL HIDROLÓGICO

Para la creación de los mecanismos locales de pago por servicios ambientales, parte fundamental para su consolidación es el reconcomiendo de la importancia de conservar los bosques como no sólo como proveedores de bienes sino también de amenidades ambientales. Para esto, es menester la cooperación e integración de los usuarios del servicio ambiental, que en su proceso de producción utilizan como insumo básico el recurso hídrico. En general, son cuatro los principales usuarios del recurso hídrico que se identifican en la cuenca del río Cupatitzio: i) Los productores de aguacate, ii) los módulos de riego 1, 2 y 3 del Distrito de Riego 096 “Lázaro Cárdenas”, iii) los Organismos Operadores de Agua en la Cuenca, y iv) la Comisión Federal de Electricidad, que tiene instalada tres centrales hidroeléctricas, El Zumpimito, El Cobano y el Cupatitzio (figura 8).



**Figura 8.** Ubicación geográfica de usuarios del recurso hídrico

En México, hay esquemas de PSA en desarrollo (acuerdos locales entre usuarios y proveedores) donde participan usuarios, tales como; la CFE, distritos de riego y organismos operadores de agua. En Chiapas está el caso del acuerdo entre CFE-Gobierno del Estado de Chiapas y la CONAFOR (iniciado en enero 2012) donde se ha establecido el esquema de fondos concurrentes por un monto de 16 millones 500 mil pesos a un periodo de 5 años donde se conservarán 2500 hectáreas de bosque distribuidos en 11 ejidos.

Asimismo, la integración de usuarios del recurso hídrico para riego agrícola (productores agrícolas) han iniciado esquemas de PSA, tal es el caso de la experiencia de Fábricas de Agua Centro Sinaloa (FACES), éste tiene como principal área de acción en la cuenca del Río Tamazula donde se inició el proyecto de conservación y restauración de 2 807 hectáreas en las áreas forestales del ejido Imala, que permitirá disminuir el proceso de azolve de la presa e incrementar su aforo de

agua. Con el apoyo convenido a través del esquema de fondos concurrentes, a partir del año 2009, FACES y la Conafor comprometieron aportar, a partes iguales, un monto de 10 millones de pesos a distribuirse en cinco años. Con dichos recursos los ejidatarios de Imala desarrollarán las actividades de conservación y recuperación en una superficie inicial propuesta de 2 807 hectáreas. El recurso que FACES aporta para el fondo concurrente proviene del pago de 20 pesos por hectárea que realizan los agricultores a través de los distritos de riego.

También hay experiencias que dan cuenta de cómo instituciones como las Comisiones de Cuenca (entre otras) influyen en la formación de este tipo de mecanismos locales. Por ejemplo, en el año 2009 la Conafor se sumó a este esfuerzo mediante la creación de mecanismos locales de pago por servicios ambientales a través de fondos concurrentes, firmando un convenio con la Comisión de Cuenca del Alto Nazas, por un periodo de cinco años para realizar trabajos de conservación en una superficie de 8 622 hectáreas. La Conafor compromete una aportación de 10 millones de pesos, mientras que la Comisión de Cuenca aporta otro tanto igual para sumar 20 millones de pesos. Al igual que FACES, los recursos que aporta la Comisión de Cuenca provienen de la integración de fondos de parte de los usuarios de agua en el distrito de Riego 017 y de aportaciones directas de concesionarios de pozos.

Lo que caracteriza a estos acuerdos institucionales es la relación que se establece entre bosque y agua, donde los poseedores del bosque, en su mayoría, mantienen un régimen de propiedad social (ejidos y comunidades)

En el caso de la Cuenca del Río Cupatitzio, sólo un usuario es quien ha tenido la iniciación para implementar el esquema local de PSA-H. La CAPASU en su calidad de usuario del recurso hídrico es quien provee de este vital líquido a la segunda ciudad más grande del Estado de Michoacán. La ciudad de Uruapan es el eje rector de las actividades económicas de la región, en particular por la producción de aguacate, y en ella se ubican distintos organismos relacionados a la gestión de los recursos naturales, tales como la Comisión de Cuenca del Río Cupatitzio, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, además de que en sus áreas de influencia se ubican otros organismos (estales y regionales) como el Consejo Regional Forestal Meseta Purépecha y otras asociaciones no gubernamentales (GIRA, A.C.) quienes vienen trabajando desde 2004 con miras a establecer esquemas de manejo sustentable de los recursos naturales, y en los últimos años, han abordado en sus temáticas la importancia de los servicios ambientales de los bosques como mecanismo de gestión de los recursos hídricos.

### **5.2.1. El papel de la Comisión de Cuenca del Río Cupatitzio en la gestión de los recursos hídricos y bosques**

En la Cuenca del Río Cupatitzio, los nuevos retos derivados del crecimiento demográfico, los cambios en los usos del suelo, la extensión de las fronteras agrícolas y la contaminación del agua que han sometido a fuertes presiones a los recursos naturales, entre ellos el agua, motivó a los tres órdenes de gobierno, los usuarios del agua, instituciones académicas y sociedad organizada a afrontar de manera conjunta la problemática, creando para ello la Comisión de Cuenca del Río Cupatitzio, como un órgano auxiliar del consejo de cuenca del Río Balsas.



La Comisión de cuenca del Río Cupatitzio, se creó como un órgano colegiado con el propósito de definir programas y crear las estructuras operativas que promuevan la gestión integrada de los recursos hídricos, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

Para cumplir con el propósito de la Comisión de Cuenca, con asesoría de la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ)<sup>20</sup> se formuló el “Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cupatitzio”, mismo que fue aprobado en la cuarta sesión ordinaria de dicha comisión.

De manera paralela a la formulación del Plan, con el propósito de contar con un órgano de coordinación y concertación de objetivos, metas, políticas, programas, proyectos y acciones específicas en materia hídrica, en la XX Reunión Ordinaria del Grupo de Seguimiento y Evaluación del Consejo de Cuenca del Río Balsas, se aprobó la creación de la Comisión de la Cuenca del Río Cupatitzio.

Durante los meses de junio y julio de 2004, los usuarios de las aguas nacionales de la cuenca del Río Cupatitzio y las organizaciones interesadas en el mejoramiento de la gestión del agua en la misma, eligieron formalmente a sus representantes para participar en las acciones y programas de la citada Comisión. De este modo, el 4 de agosto de 2004, en la ciudad de Taretan, Michoacán, se constituyó e instaló la Comisión de Cuenca del Río Cupatitzio, con la asistencia de los vocales elegidos (usuarios del recurso hídrico) de los Usos Agrícola, Pecuario, Público Urbano, Acuícola, Industrial, Generación de Energía Eléctrica y Ambiental, bajo los siguientes lineamientos:

1. Constituirse en un foro para la gestión integral del recurso hídrico.
2. Ser un órgano de coordinación y concertación de objetivos, metas, políticas, programas, proyectos y acciones específicas en materia hidráulica en su ámbito territorial, de conformidad con las normas y principios de la Ley de Aguas Nacionales y de la Ley del Agua y Gestión de Cuencas para el Estado de Michoacán.

En los últimos años, derivado de la importancia de los bosques como proveedores del servicio ambiental hídrico, la CCRC ha invitado al sector aguacatero de la región a participar en las acciones de rescate, conservación y mantenimiento de los recursos forestales mediante esquemas de gestión como el PSA-H. Lo anterior fue un acuerdo tomado por la Comisión durante la décimo octava reunión ordinaria integrada por integrado por presidentes municipales de 11 municipios de la cuenca autoridades federales y estatales, así como ejidos, comunidades, asociaciones agropecuarias, entre otros sectores inherentes al cuidado de la cuenca del Cupatitzio.

Si bien los trabajos de la CRCC se centran más en la distribución del recurso hídrico, su papel de organismo operativo le da la posibilidad de tener mayores acercamientos con los distintos usuarios de la región. El sector aguacatero es quien más acercamiento ha tenido, no obstante, la falta de acuerdos institucionales es lo que ha frenado establecer acuerdos para financiar proyectos de pago por servicios ambientales.

---

<sup>20</sup> El Consejo de Cuenca del Río Balsas se constituyó e instaló formalmente el 26 de marzo de 1999 en la Ciudad de Cuernavaca, Morelos. En este ámbito, a partir del año 2001 el Gobierno de Alemania, a través de la Agencia de Cooperación Técnica (GTZ) y el Gobierno de México, por conducto de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), iniciaron un programa de colaboración técnica para elaborar planes de manejo integral del agua en nuestro país. Dentro de dicho programa de colaboración, se estableció que la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) participaría con un programa de asesorías en dos subcuencas específicas, seleccionando la cuenca del Río Cupatitzio como una de ellas.

Según los reportes del Gerente de la CCRC indican que los principales problemas que existen en la cuenca son:

- El deterioro paulatino de la cantidad y calidad del agua,
- El cambio del uso del suelo,
- Servicios deficientes en agua potable, alcantarillado y saneamiento,
- Un inadecuado manejo de la basura,
- Deficiencias en el monitoreo de la calidad del agua y medición hidrológica limitada,
- Recursos insuficientes para la adecuada operación de los OOAPAS,
- Conflictos entre los usuarios (módulos de riego) por la competencia del agua, y
- Baja eficiencia en el uso del agua.

### 5.2.2. Principales usuarios del servicio ambiental hidrológico: conflictos por el uso del agua

Según los datos de la CONAGUA (2006), la principal fuente de abastecimiento del agua es mediante el aprovechamiento superficial, en total, éste representa el 98.3% del agua aprovechada, el resto proviene de las fuentes subterráneas y sólo representa 1.7%. De las fuentes de abastecimiento superficial, el mayor aprovechamiento que se le da al recurso es para uso no-consuntivo, es decir, la mayoría del recurso es empleado para la generación de energía eléctrica (73.18%) y otros usos que no implican un consumo directo. La actividad agrícola consume el 24.64 de las fuentes superficiales, usadas en su mayoría para los módulos de riego ubicados en parte sur de la cuenca. Del aprovechamiento subterráneo, 82.22% es consumido por las actividades agrícolas, principalmente ubicadas en la parte media y alta de la cuenca donde predominan las plantaciones de aguacate, principal cultivo consumidor del recurso hídrico (tabla 6).

**Tabla 6.** Aprovechamiento de los diferentes usos del agua en la cuenca

Tipo de uso	Aprovechamiento superficial (m <sup>3</sup> )	Aprovechamiento superficial (%)	Aprovechamiento subterráneo (m <sup>3</sup> )	Aprovechamiento subterráneo (%)
Acuacultura	7.172.043,26	0,51	308.348,00	1,23
Agrícola	348.619.184,41	24,64	20.716.362,78	82,78
Doméstico	475.721,98	0,03	5.093,75	0,02
Generación de energía eléctrica	1.035.493.000,00	73,18	0,00	0,00
Industrial	4.362.768,00	0,31	2.837.156,00	11,34
Múltiples	9.774.818,00	0,69	1.728,00	0,01
Pecuarios	201.513,34	0,01	21.881,00	0,09
Público urbano	8.303.759,71	0,59	1.086.258,33	4,34
Servicios	526.035,80	0,04	47.756,36	0,19
Total	1.414.928.844,50	100,00	25.024.584,22	100,00

La superficie aproximada que se dedica a la agricultura es de 146,617 hectáreas (CONAGUA, 2006). El crecimiento no controlado de la frontera agrícola bajo riego, aunado a la precaria infraestructura hidráulica utilizada para conducir y distribuir el agua ha propiciado un marcado desequilibrio entre la oferta y la demanda. La franja aguacatera de la cuenca, según estimaciones realizadas por Bravo-Espinosa, et al (2012) indican que de 2003 a 2008 las superficie convertida a huertos de aguacate fue de 65,849.9 hectáreas, siendo el principal cambio la reconversión de cultivos agrícolas de temporal a huertos de aguacate con más de 54 mil hectáreas (tabla 7).

**Tabla 7.** Cobertura de la tierra (ha) convertido entre 2003 y 2008 a huertos de aguacate

VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	SUPERFICIE TRANSFORMADA (HA)
Bosque de pino a Aguacate	2233
Bosque de encino a Aguacate	275.7
Bosque de pino-encino y encino pino a Aguacate	6888
Selva baja caducifolia y selva baja subcaducifolia a Aguacate	90.4
Agricultura de temporal a Aguacate	54592.3
Agricultura de riego a Aguacate	839.4
Pastizal inducido a Aguacate	687.7
Asentamiento humano a Aguacate	243.4

Dentro de la cuenca, se tiene el sistema de riego Cupatitzio-Cajones, que comprende tres módulos del Distrito de Riego 097, con una superficie autorizada de 19,171 hectáreas y se encuentra ubicado en los municipios de Gabriel Zamora, Nueva Italia y Parácuaro, es decir, en la parte baja de la cuenca (CONAGUA, 2006). El Sistema Cupatitzio-Cajones aprovecha los escurrimientos de aguas del río Cajones, derivando 8 m<sup>3</sup>/s que se conducen a través del Canal Cajones hacia la primera Unidad del Distrito de Riego (Módulos 1, 2 y 3), además de la proveniente del sistema hidroeléctrico El Cobano del orden de 12 m<sup>3</sup>/s, que se integran al sistema en el Km 12 del mismo canal, disponiéndose en total de 20 m<sup>3</sup>/s que en la actualidad, se estima es utilizada para el riego de más 38, 000 hectáreas (tabla 8). Por la localización geográfica que tienen los módulos del sistema Cupatitzio-Cajones, con respecto a las fuentes de abastecimiento, se ha generado una lucha por la cantidad y la oportunidad en el uso del agua. Este tipo de conflictos, fue lo que condujo, en parte, a la creación de la Comisión de Cuenca del Río Cupatitzio.

En palabras del gerente operativo de la CCRC:

Los que tienen tierras abajo que se riegan con las aguas del río Cupatitzio y Cajones, los tres módulos, el 1 el 2 y el 3, riegan 30 000 hectáreas con estas aguas; entonces si reduce, si la zona de recarga no mantiene los manantiales con esos niveles vamos a tener serios

consecuencias abajo porque no nos va alcanzar el agua y van a empezar los conflictos, entonces mejor prevenir y no lamentar.

**Tabla 8.** Usuarios de los módulos de riego

MÓDULO	NÚMERO DE USUARIOS	Superficie	Superficie actual de riego
Módulo 1 Asociación de Usuarios de Riego Lombardía, A.C.	1,030	5,478	11,514
Módulo 2 Asociación de Usuarios de Riego J. Trinidad Pérez Navarro A.C.	1,496	8551	17,520
Módulo 3 Asociación de usuarios de Riego Benito Juárez, A.C.	875	5,133	9,122
TOTAL	3,553	19,171	38,156

En la cuenca, los principales productos agrícolas son las plantaciones de aguacate en la parte media (predominantemente) y las plantaciones de limones y mango en la parte baja, 30.02% y 15.41% respectivamente.

Sobre el uso del recurso hídrico para el público urbano, se tiene una gran presión por parte de los usuarios, los cuales demandan agua en cantidad y calidad suficiente, siendo éste uno de los principales factores de bienestar social. Los porcentajes de cobertura de las diferentes poblaciones de la cuenca es muy desigual mientras que existen poblaciones con un alto grado de cobertura, como es el caso de la ciudad de Uruapan (90%), existen aquellas donde el rezago es muy amplio, como son los casos de Múgica y Gabriel Zamora (80 %). Lo anterior genera dos situaciones, por un lado las poblaciones con una cobertura aceptable resultan ser las que tienen un mayor índice de crecimiento poblacional, mayor al 1.8 nacional, y aquellas en las que la cobertura es baja, necesariamente se tendrá que incrementar la cobertura, en ambos casos las demandas futuras de agua potable tenderán a incrementarse, con lo cual se incrementará la presión social para ampliar los servicios.

En todo caso, de establecerse los esquemas de PSA habría que determinar el monto de aportación para cada usuario. El caso de FACES, la aportación para el PSA es de \$20 pesos por hectárea. En el área de la cuenca, las estimaciones más recientes indican que hay más de 65 mil hectáreas de plantaciones de aguacate y más de 30 mil hectáreas de cultivos en los módulos de riego 1, 2 y 3 del Distrito de Riego 096.

Basándonos en estos datos, si las aportaciones por hectárea fueran de \$20 pesos por hectárea/mensuales, la acumulación total del recurso sería de \$22,800,000 de pesos. El total de PSA que se requiere en la cuenca, según los datos dados en el tabla 5 asciende a más de 37 millones de pesos.

Así, un dato interesante a estimar, mediante una valoración económica ambiental sería la disposición a pagar de los usuarios del recurso para la implementación de esquemas de pago por servicios ambientales, donde se consideren no sólo a los productores agrícolas sino también a los Organismos Operadores de Agua, a la CFE y a otros pequeños usuarios.

No obstante, los problemas que deberán resolverse en el ámbito del sistema socio-ecológico es en el manejo de los recursos que está relacionado con la capacidad de generar acuerdos y desarrollo institucional mediante la interacción constante de los actores.

Según lo mencionado por el gerente de la Comisión:

...en las reuniones han aceptado aportar y buenas cantidades, y la pregunta que hacen ellos es quién va administrar estos [recursos], por eso quieren el proyecto pues, cómo se va administrar para ver resultados. Porque dicen, bueno nosotros como representantes de cierto grupos de aguacateros vamos a aportar un peso por cada hectárea, por decir pues un peso, pero son millones de cajas que venden [cajas de aguacate], entonces ese dinero de quién va ser [a quién se le va transferir], quiénes lo va administrar... Por ejemplo, los módulos de abajo [módulos de riego 1, 2 y 3], dijeron bueno para empezar rápido vamos a aportar \$60,000 pesos... pero quién los va administrar. La pregunta que usted me hace ¿Estarán conscientes y quieren aportar? Sí quieren, están en acuerdo. Principalmente lo aguacateros, los módulos de riego, y los organismos operadores. Pero lo único que quieren es conocer cómo se van evaluar los resultados, y cómo se van transferir los recursos, cómo se van a medir los resultados, si hubo impacto en el beneficio y eso es lo que dicen los representantes de los usuarios [del recurso hídrico]...

Es relevante mencionar que los mecanismos de PSAH deberán estar dirigidos a promover e incentivar la cobertura vegetal, usos del suelo y prácticas de agricultura sostenible que mejoren y permitan la regulación e infiltración del agua de lluvia. Debido a las condiciones de pobreza y tenencia de la tierra en las áreas rurales de país (muchas de ellas susceptibles de PSA), esto supone ir más allá de los enfoques tradicionales de reforestación masiva y conservación pasiva para promover el SAH, ya que no representa una opción viable y compatible con los medios de vida de los hogares rurales.

Lo anterior para evitar caer en la trampa de adoptar una lectura del territorio en donde solamente se resalta la dimensión biofísica (visión reducida) y se plantean soluciones simples, que no toman en cuenta las dinámicas socioeconómicas y prioridades de las familias y productores rurales.

## CONCLUSIÓN

El reconocimiento de las amenidades ambientales del bosque en el área de influencia de la cuenca del río Cupatitzio fue lo que condujo a la Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Uruapan en conjunto con la CONAFOR a establecer un mecanismo de conservación de los recursos forestales basada en el pago por servicios ambientales hidrológicos en el que las partes involucradas se comprometieron a conjuntar esfuerzos (acuerdos institucionales) a fin de mantener

la cobertura forestal necesarias para el suministro de los servicios ambientales. Mediante el análisis institucional se determinó que en la Cuenca del río Cupatitzio (y su área de influencia, la Meseta Purépecha) puede ser una unidad adecuada para realizar la gestión ambiental debido a que presenta potencialidades no sólo por los bienes y amenidades ambientales que éste provee sino también por las aspiraciones de los actores a participar en acciones dirigidas al desarrollo sostenible. De este modo, la instrumentación de las políticas ambientales mediante el mecanismo de pago por servicios ambientales hidrológicos puede resultar una herramienta importante para conciliar los intereses de los distintos actores mediante la elaboración y sanción de normas en el manejo de los recursos (bosques y agua) sustentadas en las capacidades institucionales locales, regionales, estatales y nacionales para promover mecanismos de gestión sostenible Asimismo, es importante considerar, a nivel local, el rol de las comunidades y ejidos en la gestión de los recursos dado que ellos, en su mayoría, poseen o mantienen los derechos de apropiación del recurso forestal.

El programa de Pago por Servicios Ambientales de la CONAFOR que se viene implementando desde 2003 en Michoacán, 76.4% de estos proyectos han sido ejecutados en áreas de propiedad social y de estos, cerca del 70% son proyectos enfocados a la preservación de los recursos hídricos mediante la conservación de áreas forestales. De ahí la importancia de considerar el rol de las comunidades y ejidos dado que, en su espacio social, mantienen el vínculo directo con sus recursos forestales en el que interactúan ya sea intercambiando bienes y servicios, resolviendo problemas, dominando uno al otro, o compitiendo, según sean los intereses internos que se tengan en torno al uso de los recursos.

## BIBLIOGRAFÍA

- BARKIN, D., & KING, T. (1979). Desarrollo económico regional: enfoque por cuencas hidrológicas. México, D.F.
- BAUCHE P., P. (2012). Pagos por Servicios Ambientales en México. CONAFOR.
- BRAVO-ESPINOZA, M., & ET AL. (2012). Effects of converting forest to avocado orchards on topsoil properties in the trans-mexican volcanic system, México. Wiley Online Library.
- BRAY, DAVID BARTON, Y MERINO PÉREZ, LETICIA. (2004). La Experiencia de las Comunidades Forestales en México. Veinticinco años de silvicultura y construcción de empresas forestales comunitarias. INE, SEMARNAT, Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C. México. 271p.
- BRENNER, L. (2010). Gobernanza ambiental, actores locales y conflictos en las Áreas Naturales Protegidas mexicanas. Revista Mexicana de Sociología, 2, 283-310.
- COFOM. (2012). Inventario del uso del suelo y vegetación 2010. Morelia, Michoacán.
- COINBIO. (2006). Programa de Manejo Del Área de conservación de Santiago Angahuan.
- COINBIO-CONAFOR (2004). Ordenamiento Territorial Comunitario de Angahuan
- CONAFOR. (2011). CONAFOR. Obtenido de <http://www.conafor.gob.mx/portal/>
- CONAGUA. (2005). Plan de Gestión Integral de la Cuenca del Río Cupatitzio.
- CONAGUA. (Agosto, 2010). Documento Técnico Descriptivo de la Red Hidrográfica Escala 1:50 000. México, D.F.: Dirección General de Geografía; Medio Ambiente.
- DURAN, J. M., & BUSTIN, A. (1986). Revolución agrícola en Tierra Caliente de Michoacán. Zamora, Mich.: El Colegio de Michoacán.
- DURAN, J. M., & BUSTIN, A. (1986). Revolución agrícola en Tierra Caliente de Michoacán. Zamora, Mich.: El Colegio de Michoacán.

- GARDNER, R., OSTROM, E., & WALKER, J. (1990). The nature of common-pools resource problems. *Rationality and Society*, 335-358.
- GARIBAY OROZCO, C., & Bocco Verdinelli, G. (2011). Cambios de uso del suelo en la Meseta Purépecha (1976-2005). Morelia, Michoacán: CIGA, UNAM.
- GIBSON, MCKEAN, OSTROM (2000). People and forests: communities, institutions, and governance. Massachusetts Institute of Technology
- GÓMEZ RUÍZ, E., & *ET AL.* (2011). Distrito de Riego 097 "Lázaro Cárdenas": Informe del viaje de estudio al distrito de riego 097. Chapingo, México.
- HECHT, S., KANDEL, S., & MORALES, A. (2012). Migración, medios de vida rurales y recursos naturales. El Salvador: Fundación PRISMA.
- INEGI. (2005). Censo de Población y Vivienda 2005
- INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010
- INEGI. (2010). Principales Resultados del Censo de Población y Vivienda 2010. Aguascalientes.
- INEGI. Archivo Histórico de Localidades
- LANDELL-MILLS, N., & PORRAS, I. (2002). Silver Bullet or Fool's Gold: A Global Review of Markets for Forest Environmental Services and their Impact on the Poor.
- MAYRAND, K., & PAQUIN, M. (2004). Pago por servicios ambientales: estudio y evaluación de esquemas vigentes. Montreal: Unisféra International Centre.
- MCKEAN, M. (2000). Common Property: What Is It, What Is It Good For, and What Makes It Work? En C. Gibson, M. McKean, & E. Ostrom, Forest resources and institutions. FAO.
- MENDOZA ARROYO, J. M. (2002). Historia y narrativa en el Ejido de San Cristobal (1916-1997). El Colegio de Michoacán, Zamora, Mich.
- MERINO, L. (2005). El desarrollo institucional de esquemas de pago por servicios ambientales. *Gaceta Ecológica* (74), 29-42.
- OSTROM E. (1990). *Governing the Commons: the Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press. Cambridge.
- OSTROM E. (1998). 'Institutional analysis, design principles and threats to sustainable community governance and management of commons.' In E Berge and NC Stenseth (eds.) *Law and governance of renewable resources: Studies from Northern Europe and Africa* (pp. 27-53). International Center for Self-Governance (ICS) Press. Oakland.
- OSTROM E. (2005). *Understanding Institutional Diversity*. Princeton University Press. Princeton.
- RED MOCAF, & CONAFOR. (2008). Ordenamiento Territorial Comunitario de San Lorenzo.
- WUNDER, S. (2005). Payments for environmental services: Some nuts and bolts. Indonesia: CIFOR.
- WUNDER, S., ENGEL, S., & PAGIOLA, S. (2008). Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. *Ecological Economics* (65), 834-852

# INICIATIVA PÚBLICO-PRIVADA PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO CON ENFOQUE DE CUENCAS EN LA SIERRA MADRE DE CHIAPAS, MÉXICO.

Walter LÓPEZ BÁEZ, Itzel CASTRO MENDOZA, Robertony CAMAS GÓMEZ, Jaime LÓPEZ MARTÍNEZ, Bernardo VILLAR SÁNCHEZ

Investigadores del Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. Km. 3.0 Carretera Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. C.P. 29140. [lopez.walter@inifap.gob.mx](mailto:lopez.walter@inifap.gob.mx).

## RESUMEN

La Sierra Madre de Chiapas ha sido afectada por desastres meteorológicos que han causado pérdida de vidas humanas y daños a la economía en su conjunto. Para mejorar la capacidad de adaptación de la población y los ecosistemas, se implementó una propuesta integrada que incluye la seguridad alimentaria y diversificación de ingresos, restauración de áreas degradadas, conservación de bosques, reducción riesgos a desastres y mecanismos financieros para garantizar la continuidad del proyecto en el largo plazo. La cuenca hidrográfica es la unidad territorial donde se planifican y realizan los procesos de gestión del desarrollo. Entre los principales resultados destaca: a) la creación de un mecanismo de cooperación entre instituciones públicas, ONG's, universidades y las comunidades, b) la implementación articulada de las acciones, c) la creación de los grupos intercomunitarios de acción territorial en las cuencas, d) la orientación del uso de los incentivos para combatir la pobreza y h) capacitación de la población para prevenir riesgos de desastres e implementar monitoreos de sus recursos naturales. Se concluye: a) los procesos de adaptación al cambio climático deben ser integrales, multidimensionales, multisectoriales, territoriales, con visión de largo plazo y construidos con la población. b) La participación del ONG's en el mecanismo financiero permite superar la falta de articulación entre programas, la discontinuidad por cambios de gobierno. c) El enfoque de cuencas permite atender más eficaz e integralmente la agricultura, fuentes de agua, áreas protegidas, viviendas, infraestructura para el desarrollo, las zonas de desastres y las áreas degradadas.

**Palabras Claves:** *Cambio climático, cooperación público-privada, propuesta integrada, cuencas*

## INTRODUCCIÓN.

Los efectos del cambio climático al igual que en otras partes del mundo, son una realidad en el estado de Chiapas, especialmente en la zona de la Sierra Madre. Así lo demuestran los desastres por derrumbes e inundaciones ocurridos en los últimos 15 años, los cambios que los productores están realizando en sus fechas de siembra y los sistemas de producción, así como, las frecuentes pérdidas de cosechas por sequías o excesos de las precipitaciones. Estas afectaciones tienen que ver con la protección civil, con la seguridad alimentaria, con el suministro de agua, con el desarrollo económico local y con la oferta de servicios ambientales. De no hacer nada estos efectos adversos



serán mayores especialmente en la agricultura y en los recursos hídricos (Naciones Unidas, 1998; Caparros, 2007; Stern, 2007; SHCP, 2009).

Como ejemplo, el Huracán Stan ocurrido en el año 2005 ocasionó el deceso de 86 personas y causó daños a 32,514 hogares, 305 escuelas y 208,064 hectáreas de tierras de cultivo, con un costo aproximado de \$15 mil millones. De acuerdo a la Comisión de Áreas Naturales Protegidas, este evento también causó daños en 28,000 hectáreas de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (ubicada en la cima de la Sierra Madre de Chiapas) principalmente en la zona de amortiguamiento donde viven alrededor de 14,000 habitantes que requieren seguir utilizando sus recursos naturales para obtener satisfactores (Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, 2008).

Los efectos adversos del cambio climático se acentúan por los peligros naturales existentes en la zona (altas precipitaciones, orografía accidentada, geologías) y por las acciones de deterioro de las cuencas (deforestación y malas prácticas en agricultura y ganadería en las partes altas), que se manifiestan en forma negativa en las partes bajas en eventos extremos de precipitación (USAID and US Forest Service, 2007)

Por otro lado, el estudio realizado López et al. (2011a) evidenció que los procesos actuales de planeación en la región, desconocen la conectividad hídrica y territorial que existe entre las áreas naturales protegidas, los municipios y cuencas hidrográficas. El modelo de desarrollo actual no tiene ninguna garantía de sustentabilidad; así lo indican, los frecuentes desastres por inundaciones, la contaminación de las aguas superficial y subterránea, el avance de la deforestación afuera y dentro de las reservas y la destrucción de los humedales aguas abajo, entre otros. No existe una política de gestión del territorio que considere el ciclo hidrológico, sus alcances y recurrencia; por el contrario, se ha seguido un patrón de adaptación de la naturaleza a los intereses económicos de corto plazo y al crecimiento desordenado de la población.

De acuerdo a Left (2007) una de las graves limitaciones de la política pública ha sido querer atender la sustentabilidad como un tema sectorial con visión reduccionista de corto plazo. Por ello, cuando se habla de conservar las áreas naturales protegidas se piensa que sólo es responsabilidad y preocupación de la Comisión Nacional Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y de unos pocos aliados, cuando en realidad debe ser un tema prioritario transversal en toda la administración pública de los tres niveles de gobierno.

Esta problemática se refleja claramente en la falta de articulación de los programas oficiales en los territorios, que tres como consecuencia la falta de funcionamiento de los espacios de planificación como los comités de cuencas y consejos de desarrollo rural sustentable (López et al.,(2007)

Es evidente que se requiere de una alternativa diferente que permita superar los vacíos, inercias y aspectos operativos fundamentales que están limitando el alcanzar logros de mayor impacto en la adaptación al cambio climático.

El objetivo de este estudio fue diseñar e implementar un proyecto alternativo para administrar los recursos naturales en forma integral incluyendo el desarrollo económico, el bienestar social, la protección del medio ambiente, la adaptación a los efectos del cambio climático, así como la participación de la sociedad usuaria de los recursos y de los gobiernos federal, estatal y municipal, a través de un enfoque integrado y respetuoso del medio natural en un territorio común.

## II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

Considerando que el cambio climático afecta todos los aspectos de la vida humana, se diseñó una estrategia integral, participativa y sostenible que considera como eje central a las familias en un marco de planeación territorial, en donde la población participa activamente en los diagnósticos, planificación, ejecución y evaluación de las acciones. La premisa es que las propuestas integradas con enfoque territorial que incluyen el desarrollo de la agricultura y la ganadería, el manejo de los recursos hídricos, la conservación de bosques y suelos, la diversificación de ingresos y medios de sustento, entre otros, son más efectivas para la adaptación de las comunidades al cambio climático (Bahadur y Bhandari, 2009).

La estrategia se denomina “Adaptación al cambio climático basada en ecosistemas” y es una alternativa propuesta por diversos organismos como el Fondo de Conservación El Triunfo, A. C. (FONCET), The Nature Conservancy (TNC), Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Está enmarcada dentro del Programa Especial para el Cambio Climático y la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Áreas Protegidas lanzado por el Gobierno Federal de México. Los resultados esperados también estarían alineados con las metas propuestas en la Nueva Agenda del Agua en México establecida para el año 2030.

El proyecto se desarrolla en la Sierra de Chiapas considerada una zona altamente vulnerable a los efectos adversos del cambio climático. Fue seleccionada ante la importancia y urgencia que tiene diseñar e implementar alternativas para hacer más resistentes y menos vulnerables a los ecosistemas ante eventos climáticos extremos, así como, para recuperar las áreas afectadas y mejorar la capacidad de adaptación de la población y los ecosistemas a los efectos del cambio climático.

El proyecto inició en el año 2010 a manera de ensayo piloto en siete microcuencas de la Sierra Madre de Chiapas, todas ellas ubicadas dentro del polígono de la Reserva de la Biósfera El Triunfo. Estas microcuencas también fueron consideradas dentro del Programa de Adaptación al Cambio Climático (PROAC) implementado e iniciado en el año 2011 por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas por su nivel de riesgo y vulnerabilidad a los deslizamientos de laderas.

Todas las microcuencas se caracterizan por tener su máxima altura en el parte aguas de la Sierra Madre y haber sido afectadas por desastres ocasionados por derrumbes e inundaciones. Las microcuencas de los ríos El Naranjo, Prusia y La Suiza drenan hacia el Río Grijalva en la depresión central del estado y son parte de la Región Hidrológica No. 30 conocida como Grijalva-Usumacinta. Por su parte las microcuencas de los ríos Margaritas, Novillero, San Nicolás y Rosario drenan hacia el océano Pacífico y son parte de la Región Hidrológica No. 23 conocida como Costa de Chiapas (CONAGUA, 2012).

Las principales actividades económicas en las microcuencas son el cultivo de café y ganadería que representan el principal patrimonio de las familias y en promedio el 85% del ingreso familiar. El

maíz y frijol son actividades fundamentales para la seguridad alimentaria al ser los principales componentes de la dieta familiar (López et al., 2010; 2011a).

La intervención en las microcuencas ha sido gradual en función de la disponibilidad de recursos. En el año 2010 se inició en El Naranjo, La Suiza y Prusia. En el año 2011 en Margaritas, Novillero, Rosario y San Nicolás.

La microcuenca la Suiza resalta por sus avances en la implementación de la propuesta integral debido a su mayor nivel de organización intra e intercomunitario y ha sido tomada como punto de referencia tanto para las instituciones como para las otras microcuencas.

### **III. AVANCES DE RESULTADOS DEL PROYECTO.**

#### **La compresión comunitaria del cambio climático.**

Un paso fundamental para el diseño e implementación del proyecto fue conocer como la población del área de estudio comprende los efectos del cambio climático en sus comunidades. Los principales riesgos se describen a continuación:

- a) Derrumbes e inundaciones: Afectan las viviendas, caminos, áreas productivas (plantaciones de café), red eléctrica y la infraestructura para el desarrollo. Este riesgo es señalado en todas las comunidades con diferentes magnitudes. Las más afectadas han sido muy reubicadas pero la población se ha resistido a irse debido a la lejanía de los nuevos centros de población de sus cafetales. Este tipo de riesgo ha aumentado la capacidad de organización intra e intercomunitaria para enfrentar los efectos pero no las causas del problema. Como los derrumbes e inundaciones están relacionados con la pendiente, la gravedad, la cobertura vegetal y la precipitación, entre otros factores, fue relativamente sencillo para la población la introducción y compresión del enfoque de cuencas en las comunidades. Las comunidades tienen identificados los puntos dentro de las cuencas donde recurrentemente se presentan los derrumbes e inundaciones, pero no tenían mapas donde ubiquen las áreas con mayor peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo dentro de la cuenca.
- b) Cambio en el comportamiento de las lluvias y temperatura: Es común escuchar a la población decir: *“Cada año las lluvias empiezan más tarde y se van más temprano”*, *“Ahora los años son más calientes que antes”*, *“Ahora los aguaceros son más fuertes y duran más”* Este riesgo afecta directamente la economía y la seguridad alimentaria de la población al estar directamente relacionados con el cultivo de café (principal fuente de ingresos) y con el maíz y frijol (principales alimentos).

En el café, los productores han observado cambios en la época de floración y se quejan de la caída de la flor y frutos, y el recientemente en el año 2012 los daños severos por la roya. Estos daños los atribuyen a los fuertes aguaceros al final de la época lluviosa. En el caso de los cultivos anuales, debido al inicio tardío y retiro más temprano de las lluvias, el tradicional sistema “maíz-frijol de relevo” con semillas criollas de ciclo tardío está colapsado. Antes los productores sembraban en la misma parcela el maíz en el mes de Abril y el frijol en el mes de Septiembre para cosechar juntos

los dos cultivos en diciembre (Figura 4). Ahora con el retraso de la lluvia siembran el maíz en Mayo y ya no les alcanza el tiempo para sembrar el frijol en Septiembre. Como medida de adaptación los productores han optado por sembrar maíz o frijol en monocultivo, o bien, probar variedades de ciclo más corto en ambos cultivos en sustitución de los materiales criollos de ciclo tardío.

La percepción que tienen la población de los riesgos asociados al cambio climático ha sido una base fundamental para su involucramiento en el proyecto, ya que tienen claro que el mismo pretende resolver problemas reales en las comunidades que están afectando sus ingresos, la seguridad alimentaria y en general su desarrollo. En los últimos años han sido más frecuentes los derrumbes e inundaciones, los cuales han afectado las viviendas, caminos, áreas productivas (plantaciones de café), red eléctrica y la infraestructura para el desarrollo (Figura 3). Los eventos señalados como los más severos fueron los huracanes Mitch en 1998, Stan en 2005 y Mattew en 2010.

### **El concepto de territorio empleado.**

El proyecto se caracteriza por utilizar a la cuenca hidrográfica como un territorio para la gestión del desarrollo sustentable. Diversos autores han documentado que el enfoque de cuencas hidrográficas representa una vía idónea para disminuir la vulnerabilidad ante los desastres por inundaciones y generar una verdadera oportunidad de gobernabilidad; ya que funcionan como sistemas en el cual las comunidades comparten un espacio territorial común, cuyos componentes estén articulados entre sí (Ramakrishna, 1997; Kiersch, 2002; World Vision, 2004; FAO, 2007; GWP and INBO, 2009). Ante el grave deterioro de los recursos naturales y los evidentes efectos del cambio climático, el concepto de cuencas hidrográficas ha recobrado importancia en el contexto mundial actual.

La cuenca hidrográfica a nivel de espacio es un conjunto de sistemas que interactúan funcionalmente dentro de límites divisorios naturales denominados “parte aguas”. En la cuenca se establece una determinada distribución espacial de la población que lo ocupa, de los sistemas productivos, redes de organizaciones económicas y sus flujos y dinámicas, que son el soporte de las formas de apropiación humana del espacio, la cual se ve reflejada igualmente en el paisaje de la cuenca. Sin embargo, hasta este nivel de análisis la cuenca hidrográfica es sólo un espacio que no puede ser considerado territorio al carecer de una organización para su gestión y desarrollo.

Para que una cuenca hidrográfica se considere un territorio debe tener un concepto de pertenencia y de gestión, particularmente, de gestión política. Es decir, además de ser espacios definidos y delimitados deben tener una institucionalidad clara para su gestión. Ya que conceptualmente un territorio se define como un espacio acotado, delimitado, con fronteras que pueden estar más o menos claras, pero que ha adoptado una forma concertada o institucional de gestión (PROTERRITORIOS, 2011). Para convertirse en territorio se necesita que la población de cada una de las cuencas, asuma una organización que la represente con capacidad de tomar decisiones sobre sus propios intereses.

Para superar este limitante el proyecto consideró la creación de los “Grupos Intercomunitarios de Acción Territorial (GIAT)” con la población que vive en cada una de las cuencas. Con la integración de los GIAT’s se estaría creando una organización institucional que posibilitaría la

gestión del desarrollo, sustentada en la acción colectiva, el interés común y la participación organizada. De esta manera al crearle una institucionalidad para su gestión, la cuenca hidrográfica puede considerarse como un territorio en construcción o en desarrollo.

El GIAT además de transformar los espacios de las cuencas en territorios, es una alternativa para superar la falta de funcionalidad de los actuales comités de cuencas, particularmente en lo que respecta a la falta de empoderamiento social de las acciones. Cabe resaltar que la cuenca como territorio, complementa significativamente la gestión tradicional del desarrollo que se realiza a través de los territorios de los municipios y ejidos basados en divisiones político administrativas.

Cada comunidad se encuentra representada en el GIAT a través de: las autoridades ejidales y los responsables del comité de agua, programa oportunidades y de la protección civil.

La creación de los GIAT 's es relativamente sencillo debido a los talleres de sensibilización y capacitación que recibe la población y la ocurrencia de desastres.

### **La estrategia integral para enfrentar el cambio climático.**

La estrategia sobre la cual se está implementando gradualmente el proyecto se basa fundamentalmente en tres componentes: a) la gestión integrada del desarrollo, b) la planificación territorial participativa y c) la creación de un mecanismo financiero.

#### a) La gestión integrada del desarrollo.

Como el cambio climático afecta todos los aspectos de la vida humana, el proyecto consideró la necesidad de una propuesta integrada. Esto significó tomar en cuenta el desarrollo de la agricultura, el manejo de recursos hídricos, la restauración y conservación de bosques, tierras y suelos; la diversificación de ingresos y medios de sustento; la rehabilitación de la infraestructura local; la creación de conciencia y la educación; y el desarrollo institucional. La premisa es que a través de una gestión integrada, participativa y sostenible del desarrollo sobre una base territorial de cuencas hidrográficas, es posible tener comunidades mejor adaptadas a los efectos indeseables del cambio climático

#### b) Planificación territorial participativa.

La Planificación territorial se sustenta en lo señalado por la Ley de Desarrollo Rural Sustentable del gobierno federal sobre la aplicación de las acciones sectoriales en forma coordinada, complementaria, sinérgica y coherente sobre los territorios. El concepto de cuencas es introducido de manera complementaria y no excluyente sobre los tradicionales espacios de planificación como son las localidades y los municipios. Es participativa porque involucra activamente a las comunidades en los diagnósticos, planificación, ejecución y evaluación de las acciones. Este aspecto es fortalecido con procesos de capacitación, acompañamiento técnico y desarrollo de capital humano y social en las cuencas intervenidas.

La propuesta de creación de los Grupos Intercomunitarios de Acción Territorial (GIAT's) en las cuencas atendidas por el proyecto, vendrá a fortalecer los procesos de planificación participativa.

#### c) Mecanismo financiero.

El objetivo de este componente es asegurar los fondos para darle sostenibilidad a las acciones del proyecto en el tiempo. Se consideró la creación de una iniciativa público-privada para darle financiamiento a las acciones en el mediano y largo plazo, basada en la búsqueda de compensaciones por los servicios ambientales que genera la Reserva de la Biósfera El Triunfo. El principal instrumento con que cuenta el proyecto es la Asociación Civil denominada Fondo de Conservación El Triunfo, el cual tiene la responsabilidad directa de la consolidación del mecanismo financiero, a través de la construcción de un mecanismo de cooperación innovador entre organismos gubernamentales, ONG's y pobladores de las localidades en un esquema de corresponsabilidad y transparencia en la realización de las acciones.

Como resultado de este esfuerzo de cooperación nació el “Fondo Semilla del Agua”, que es el primer mecanismo de agua en el país. Este Fondo se inserta en el marco de la Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, lanzada en junio de 2011 por The Nature Conservancy (TNC), Fundación FEMSA, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM-GEF). El Fondo financiará en cuencas prioritarias de Chiapas acciones integrales de desarrollo para que las comunidades estén mejor preparadas para adaptarse y enfrentar los efectos del cambio climático.

### **Participación de actores.**

A la fecha se tiene registrada la participación de 22 actores en el desarrollo de la propuesta en las modalidades de financiador, apoyo técnico en la ejecución y cooperación técnica, de los cuales 11 son ONG's, 5 Instituciones gubernamentales y 6 universidades y centro de investigación.

El grupo de las ONG's es liderado por el Fondo de Conservación el Triunfo (FONCET) como el principal impulsor y financiador local de la propuesta. Ha sido la entidad encargada de concertar recursos con otras ONG's como el Fondo de Áreas Naturales Protegidas, Fondo Ecológico BANAMEX, Fundación Gonzalo Río Arronte y The Nature Conservancy, así como, con organismos gubernamentales como Comisión Federal de Electricidad (CFE), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y Gobierno del Estado de Chiapas.

Por su parte The Nature Conservancy también ha contribuido a la búsqueda de fondos con organismos internacionales tales como la Fundación Gimbel y el Ministerio del Ambiente del gobierno de Alemania, convirtiéndose en el segundo financiador más importante durante la ejecución del proyecto.

El papel de las ONG's ha sido fundamental desde el inicio de la ejecución del proyecto debido a su mayor disposición y flexibilidad para planeación y orientación de los recursos bajo un enfoque integral, además de garantizar continuidad de las acciones en el tiempo y con flujo de recursos desde el inicio de cada año, ya que no son afectadas por los cambios de gobierno

Con respecto a los organismos gubernamentales destacan la participación de la CFE, el Gobierno del estado de Chiapas, la CONANP, CONAFOR y el Ministerio del Ambiente de Alemania, quienes han apoyado con recursos para la implementación de la propuesta. Resalta el

financiamiento de la CFE debido a que una parte de las cuencas de la Sierra Madre drenan sus aguas hacia complejo hidroeléctrico del el Río Grijalva y su aportación económica equivale a una compensación por el servicio ambiental hídrico que recibe para la generación de electricidad.

Por su parte el INIFAP ha sido el actor que ha motivado la concurrencia y participación de otros Centros de Enseñanza e Investigación como la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas, el Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza de Costa Rica. Estos centros han participado a través de los estudiantes que realizan sus prácticas profesionales en el proyecto o su trabajo de investigación de tesis. También ha concertado la participación de otros actores como Aguas de Unidad, y el CIMMYT.

El actor protagónico en el proyecto ha sido la población de las comunidades participantes quienes han sumido gradualmente el compromiso de administrar más eficientemente sus recursos naturales. Los organismos que han mantenido constante su participación en la implementación de la propuesta son el FONCET, TNC, CONANP e INIFAP y las comunidades participantes. El resto han participado eventualmente sobre una acción en particular.

### **Concurrencia de fondos y programas.**

El proyecto descansa en las siguientes líneas de trabajo dentro de las cuencas: a) recuperación de áreas degradadas, b) seguridad alimentaria y diversificación de ingresos, c) conservación de áreas con vegetación natural, y d) desarrollo de capacidades de la población.

#### **a) Recuperación de áreas degradadas.**

Se diseñó un programa de restauración forestal con especies nativas producidas en viveros comunitarios. Para asegurar el cuidado de las plantaciones las comunidades reciben un apoyo de pago por servicios ambientales por un período de 10 años. Adicionalmente se promueve la diversificación de la sombra de café con especies nativas.

Una variante importante es que las plantas se han establecido al inicio de la época de lluvias para asegurar su sobrevivencia. Cabe señalar que tradicionalmente la restauración forestal es la actividad más difícil de implementar debido a la poca disponibilidad de tierras, lo accidentado de la orografía y al poco interés que tienen las comunidades cuando no existe una compensación económica.

#### **b) Garantizar la seguridad alimentaria y la diversificación del ingreso.**

Resalta la participación del programa MasAgro del CIMMYT en su componente “desarrollo sustentable con el productor” en las áreas cultivadas con maíz y frijol. Este programa se complementa con un agresivo programa de restauración y conservación de suelos a través de barreras de muro vivo y presas filtrantes vegetativas con enfoque de cuencas tanto el cultivo de maíz como el de café.

Adicionalmente se promueve la diversificación productiva con árboles frutales de acuerdo a las características agroclimáticas de las comunidades. También se fomentan tecnologías productivas para una mayor adaptación al cambio climático como genotipos de ciclo más corto y tolerantes a pudrición, biofertilizantes y conservación de granos postcosecha.

En el caso del ejido Puerto Rico de la Microcuenca la Suiza, se concertó con la comunidad un apoyo parcial para adquirir una planta purificadora de agua en compensación por realizar las prácticas de conservación de suelos. Con esta acción además de conservar los suelos se superó la diarrea que era el problema de salud más importante en la comunidad. La planta abastece sin fines de lucro a otras comunidades de la microcuenca y se vinculó con el programa oportunidades para que fuera una obligación consumir agua purificada. Además disminuyó el consumo de leña y los casos de niños quemados con agua caliente.

c) Conservación de las áreas con vegetación natural.

Destaca por sus beneficios económicos el programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA) con fondos concurrentes convenidos entre el FONCET y CONAFOR. Con el propósito de mejorar la eficiencia del tradicional PSA de CONAFOR-ProArbol se hicieron los siguientes ajustes en la versión con fondos concurrentes:

- Sólo se pagan áreas 100% de bosque natural por estar dentro de un área natural protegida. El PSA de CONAFOR paga también áreas con café y está fomentando la siembra de este cultivo en sustitución de la vegetación natural.
- Las áreas a beneficiar se miden en campo con la participación de las comunidades y se revisan anualmente. Esta variante es muy importante porque con los mapas que se generan las comunidades se enteran de cuánto bosques tienen y en donde están ubicados. Además sirve como el principal insumo para la concertación de las metas que se beneficiarán y monitorearán dentro del PSA.
- Se consideran superficies menores a 100 ha si son importantes para mantener la conectividad de la vegetación natural. Por ejemplo, el ejido Monte Virgen de la microcuenca la Suiza ingreso al PSA concurrente con una superficie de 50 ha.
- El periodo de pago es por 10 años en lugar de 5 años del tradicional PSA de CONAFOR. El fondo concurrente permite ampliar el plazo para generar mayor conciencia de conservación y mayores impactos en el combate a la pobreza.
- El PSA se articula con la recuperación de áreas degradadas, la seguridad alimentaria y el mejoramiento del ingreso. Por ejemplo, para permanecer en el PSA las comunidades deben eliminar las quemadas agrícolas y se deben cumplir las metas comprometidas de restauración forestal. Para ello, las comunidades deben realizar acuerdos de asamblea para la conservación de



los recursos naturales y participar en el cuidado de las cuencas. Por ejemplo, participar en el Grupo Intercomunitario de Acción Territorial.

- Un porcentaje de los incentivos se debe destinar para una obra de interés colectivo en la comunidad. Gracias a este ajuste, con los incentivos del PSA concurrente se construyó un kínder en una comunidad y otras tres se adquirieron plantas purificadoras de agua y hay más obras programadas. Tradicional los incentivos del PSA se repartía entre la población sin ningún beneficio para la comunidad en su conjunto.

Estas variantes surgieron a partir de los resultados de la evaluación que realizó el FONCET-INIFAP sobre el tradicional PSA de CONAFOR implementado en comunidades de la Reserva de la Biósfera El Triunfo.

#### d) Desarrollo de capacidades de la población.

El desarrollo de capacidades es el componente soporte de las demás líneas de trabajo ya que incluye acciones de sensibilización y capacitación, acuerdos intra e intercomunitarios a favor de la conservación y la participación activa de la población en todos los procesos de desarrollo de la propuesta. Los talleres iniciales de capacitación sobre cambio climático, manejo integral de cuencas, agricultura de conservación y riegos de desastres impartidos en cada una de las comunidades, sirvieron para sentar las bases de la propuesta integrada.

También destaca la realización del monitoreo de la calidad del agua en la microcuenca La Suiza por los propios pobladores. Mensualmente 24 personas previamente capacitadas, realizan análisis físico-químico y bacteriológico del agua en 16 puntos estratégicos de la microcuenca. El objetivo es que los mismos pobladores identifiquen focos de contaminación del agua y juntos busquen alternativas de solución a los mismos.

De la misma manera la población participó en la elaboración de los mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos de deslizamientos de laderas, como herramientas fundamentales para la planificación del uso del suelo y la prevención de desastres.

Cabe señalar que otras comunidades en las cuales se implementa el Pago por Servicios Ambientales de la CONAFOR en forma aislada, los mismos beneficiarios continúan practicando la quema en los terrenos agrícolas, debido a que la CONAFOR no prohíbe la quema dentro de sus reglas de operación.

## **IV. CONCLUSIONES.**

El proyecto es interesante porque aborda, a la vez, el cambio climático, gestión integrada del desarrollo, planeación territorial participativa, mecanismos de cooperación público-privado y la articulación de programas en el territorio. Aunque aún está en su fase de consolidación, la experiencia en el tiempo de operación ha permitido detectar algunos elementos importantes en el marco de un enfoque territorial, tales como:

- a) Reconocer desde el inicio que el tema de cambio climático no es un tema sectorial, sino que por el contrario debe ser abordado con un enfoque integral, sistémico, participativo y territorial. En dos años de trabajo, las comunidades han participado de manera entusiasta porque además de la restauración y conservación se abordan los otros componentes del desarrollo como la seguridad alimentaria, manejo de riesgos climáticos y la diversificación del ingreso.
- b) El mecanismo de cooperación público-privado desarrollado entre las comunidades, centros de investigación, universidades, gobierno y ONG's ha sido estratégico para integrar recursos y esfuerzos en un fin común que garantiza continuidad de las acciones. La creación del Fondo de Aguas es un avance trascendental no sólo en Chiapas, sino también a nivel nacional.
- c) La articulación de las acciones en el territorio de las cuencas permite una mejor comunicación tanto en las instituciones, como entre estas y las comunidades. Se pudo observar que las comunidades reconocen un frente institucional detrás del proyecto y no cada una de ellas en forma separada.
- d) El condicionamiento que realizó el proyecto sobre el Programa de Pago por Servicios Ambientales en el sentido de que los incentivos solo se podrán cobrar si las comunidades evitan la quema en las áreas agrícolas, es una acción que de tomarse en cuenta en las reglas de operación del programa Proarbol de la CONAFOR, podría mejorar significativamente sus impactos.
- e) El desarrollo del el capital humano bajo la estrategia de “aprender-haciendo” ha permitido descubrir y potencial el capital humano con métodos y procesos a su alcance. El proceso inicial de sensibilización y capacitación sobre cambio climático y manejo integral de cuencas y el posterior acompañamiento técnico a las comunidades en la implementación de las actividades, ha sido clave para el desarrollo de capacidades.
- f) El involucramiento de las comunidades en la planeación, seguimiento y evaluación de las acciones junto con las instituciones, ha permitido un mayor entendimiento y sensibilización de la población e instituciones sobre el problema de cambio climático, así como, para la aplicación eficiente de los recursos.
- g) La constitución de los Grupos Intercomunitarios de Acción Territorial en las cuencas atendidas por el proyecto, es un ingrediente fundamental en la propuesta para incorporar a las cuencas dentro del enfoque territorial, además de promover una mayor integración (intra e inter) comunitaria. Hay que consolidar el esfuerzo piloto en la Microcuenca “La Suiza”
- h) Entre los principales desafíos del proyecto está: 1) la construcción de indicadores sobre los cuales medir los impactos, 2) la incorporación de las presidencias municipales como actores protagónicos y 3) diseñar los mecanismos para replicar la experiencia del microcuenca La Suiza en el resto de las microcuencas.

## AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen al Fondo de Conservación El Triunfo A.C. y The Nature Conservancy los apoyos técnicos y económicos recibidos para la implementación de este proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bahadur G. G., Bhandari D. 2009. Una propuesta integrada para la adaptación del cambio climático. En: Respuestas al cambio climático. Leisa Magazine volumen 24. 4:25-28.
- Caparros, G. A. 2007. El informe Stern sobre la Economía del Cambio Climático. Ecosistemas 16(1):124-125.
- CONAGUA.2012. Mapas de Regiones Hidrológicas de México. Consultado el 15 de junio de 2012 en: <http://siga.cna.gob.mx/mapoteca/regiones%20hidrologicas/mapareghidro.htm>
- FAO 2007. La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. Roma, Italia. 143 p.
- GWP and INBO. 2009. Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. Global Water Partnership (GWP) and International Network of Basin Organizations (INBO). Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia. Paris, Francia. 111 p.
- IICA. 2010. Hacia una gestión territorial: institucionalidad y concurrencia en la operación de los Consejos Municipales de Desarrollo Rural en México / IICA, INCA, Red para la Gestión Territorial del Desarrollo Rural, México. 356 p.
- Kiersch, B. 2002. Impactos del uso de la tierra sobre los recursos hídricos: una revisión bibliográfica. Dirección de Fomento de Tierras y Agua, FAO, Roma, IT. En [http://www.fao.org/documents/show/\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/005/Y3618S/Y3618S00,HTM](http://www.fao.org/documents/show/_cdr.asp?url_file=/DOCREP/005/Y3618S/Y3618S00,HTM). Consultado el 16 de mayo de 2011.
- Leff E. 2007. Foro Políticas Públicas para el Desarrollo de México. Mesa sobre Desarrollo Sustentable y Energía. PNUD/BM/BID/OCDE/CEPAL/CIDE. México D.F., 7-8 de febrero de 2007. 8 p.
- López B. W., Villar S. B., López M. J., Faustino M. J. 2007. El manejo de cuencas hidrográficas en el estado de Chiapas: diagnóstico y propuesta de un modelo alternativo de gestión. Publicación especial No.3. Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. 63 p.
- López B. W., Magdaleno G. R., Reynoso S. R., Salinas C. E. 2010. Diagnósticos socioproductivos comunitarios en los ejidos Toluca, Puerto Rico, 07 de Octubre y Monterrey. Proyecto reforestación y diversificación para evitar erosión de suelos en la Reserva de la Biósfera El Triunfo: Agricultura de conservación y caracterización de cuencas. Informe de actividades. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla, Chiapas. 80 p.
- López B. W., Magdaleno G. R., Reynoso S. R., Salinas C. E. 2011a. Diagnósticos socioproductivos comunitarios en los ejidos 21 de Marzo y El Vergel. Proyecto reforestación y diversificación para evitar erosión de suelos en la Reserva de la Biósfera El Triunfo: Agricultura de conservación y caracterización de cuencas. Informe de actividades. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla, Chiapas. 80 p.
- López B. W., Magdaleno G. R., Reynoso S. R., Salinas C. E. 2011. Conectividad hídrica entre municipios, cuencas y Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México". Potencial para la creación de un mercado local de agua. Libro Técnico No. 5. INIFAP. Campo Experimental Centro de Chiapas. 83 p.
- Naciones Unidas. 1998. Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. 24 p.
- PROTERRITORIOS. 2011. Programa Iberoamericano de Cooperación en Gestión Territorial. Debates Territoriales: Espacio y Territorio. En: [http://proterritorios.net/site\\_v7/debates/?cat=10](http://proterritorios.net/site_v7/debates/?cat=10)
- Ramakrishna B. 1997. Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. IICA, BMZ/GTZ. San José Costa Rica. 338 p.

- SHCP. 2009. La economía del cambio climático en México: Síntesis. Dr. Luis Miguel Galindo, Coordinador. SHCP-SEMARNAT. 67 p.
- Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2008. Guía para la Elaboración del Plan Operativo de Protección Civil para la Temporada de Lluvias y Ciclones Tropicales para la Temporada de Lluvias y Ciclones Tropicales. Subsecretaría de Protección Civil. Gobierno del Estado de Chiapas. 143 p.
- USAID and US Forest Service, 2007. Landslides, Channel Erosion, and Sedimentation in the Western Sierra Madre, Chiapas, Mexico, During Hurricane Stan in 2005: A Brief Field Review with Recommendations. 24 p.
- Stern, N. 2007. Stern Review on the Economics of Climate Change. en: [www.sternreview.org.uk](http://www.sternreview.org.uk). Consultado el 29 de junio de 2011.
- World Vision. 2004. Manual de manejo de cuencas. 2a. Edición. República del Salvador. 154 p.



# EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN AMBIENTAL FEDERAL EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA

Helena COTLER<sup>a</sup>, Carlos ENRÍQUEZ<sup>b</sup> Karina RUIZ<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Periférico 5000 2º piso, Col Insurgentes Cuicuilco, Del Coyoacán. México, D.F. email: [hcotler@ine.gob.mx](mailto:hcotler@ine.gob.mx),

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, email: [cenrique@ine.gob.mx](mailto:cenrique@ine.gob.mx)

<sup>c</sup> Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, email: [kruiz@ine.gob.mx](mailto:kruiz@ine.gob.mx)

## RESUMEN

La evaluación de la gestión ambiental permite aportar información con el fin de generar mejoras en los procesos de toma de decisiones y en el re-direccionamiento del gasto público, permitiendo la focalización de las acciones.

La cuenca Lerma-Chapala presenta una intensa degradación socio-ambiental debido a actividades agrícolas e industriales y aglomeración de centros urbanos provocando escasez en la disponibilidad de agua, contaminación del agua por descargas industriales y urbanas, degradación de suelos, deforestación, fragmentación de ecosistemas y eutrofización de embalses, entre otros.

Ante esta situación, el sector ambiental federal viene realizando acciones en busca de mitigar estos impactos. Una evaluación espacial de las acciones en esta cuenca permitió: (i) identificar sinergias y divergencias entre el trabajo de las dependencias, (ii) ubicar las subcuencas con mayor atención, (iii) identificar los temas ambientales prioritarios que no están siendo atendidos y (iv) realizar recomendaciones para modificación de programas implementados por las dependencias del sector ambiental federal.

Cuando se comparan la tipología de las acciones con la problemática de las subcuencas, se observa que las acciones no siempre tienen la orientación ni la especificidad necesaria para abordar el tipo de problemas particulares de cada subcuenca. Por otro lado, se observa una concentración de acciones en la parte baja de la cuenca (subcuenca Chapala), lo cual no permite la corrección de efectos acumulativos.

Las acciones más apoyadas en la cuenca son las obras hidráulicas las cuales en conjunto representan 70% del presupuesto contabilizado. En proporciones menores se encuentran las acciones de reforestación, mantenimiento y protección (8%), residuos sólidos (6%), programas de manejo (forestal, UMAS, conservación) (4%), conservación de suelos (1%). La reducida inversión en el gasto público destinado a acciones de conservación, impacta en la atención integral de la estructura y funcionamiento de la cuenca.

La propuesta de modificación de los programas de algunas de las dependencias del sector ambiental federal coadyuvaría a su coincidencia territorial, lo cual podría favorecer un impacto acumulativo positivo.

**Palabras clave:** Gestión ambiental, enfoque de cuenca, programas de política pública

## 1 INTRODUCCIÓN

En el andamiaje por construir una visión de manejo y gestión por cuencas en México, la cuenca Lerma Chapala ha sido uno de los casos de estudio emblemáticos en el país por el grado de complejidad que la dinámica socio-ambiental presenta. Dicha cuenca, actualmente enfrenta procesos de degradación ambiental extremos, como consecuencia del desarrollo económico impulsado en la zona. (Cotler, Mazari, & de Anda, 2006)

Si bien, en el territorio de la Cuenca Lerma Chapala, se genera poco más de la tercera parte del valor agregado censal bruto a nivel nacional, dicha situación no ha reflejado un equilibrio que propicie el desarrollo sustentable. Por un lado, el 25% de su población se mantiene con un grado de marginación alto, la cual se encuentra distribuida en poco más de la mitad de las localidades que la integran<sup>21</sup>. Por otro lado, gran parte de sus recursos naturales se encuentran deteriorados, al grado que se ha considerado como una de las regiones prioritarias de atención por parte del sector ambiental federal. (CIDRS, 2007) (SEMARNAT, 2008)

Las actividades agrícolas e industriales, así como la aglomeración de centros urbanos han sido los detonantes de los procesos de degradación tales como la escasez en la disponibilidad de agua, la contaminación del agua por descargas industriales y urbanas, la degradación de suelos, la deforestación, la fragmentación de ecosistemas y la eutrofización de embalses, entre otros. Esto ha ocasionado no sólo impactos en la dinámica eco-hidrológica de la cuenca, sino también impactos sociales e institucionales que generan competencia por el recurso hídrico entre las entidades federativas que integran la cuenca (Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Estado de México).

Dado este escenario y como parte de la respuesta gubernamental, se han promovido diferentes acuerdos y compromisos institucionales con la finalidad de solucionar dicha problemática, tales como los Acuerdos de Coordinación sobre la disponibilidad, distribución y usos de las aguas superficiales de la cuenca (1991-2004) que se enfocaban al establecimiento de mecanismos de distribución del recurso hídrico entre diferentes actores políticos y económicos principalmente.

A partir de 2005, esta tendencia contempla algunas modificaciones ante el surgimiento del Acuerdo de Coordinación para la Recuperación y Sustentabilidad de la Cuenca Lerma Chapala, el cual establece el compromiso de los gobiernos estatales considerando nuevamente la gestión del agua como el eje rector, pero agregando como un componente sustancial la rehabilitación ecológica de la cuenca bajo esquemas de Pago por Servicios Ambientales, acciones focalizadas de reforestación y conservación de suelos, preservación de la biodiversidad, rehabilitación de sistemas ribereños y lacustres, entre otros. Este sin duda se manifestaba como un acuerdo que empezaba a integrar elementos sustanciales en la renovación del recurso hídrico desde un enfoque de cuenca. No obstante, dicho avance no ha representado hasta el momento ningún mecanismo de obligatoriedad para las partes involucradas al considerarse como *producto de la buena fe*.

A nivel federal en 2007 se elabora, con base en las discusiones del Grupo Técnico de Trabajo integrado por representantes de los órganos desconcentrados y descentralizados del sector ambiental (INE, IMTA, CONAGUA, CONABIO, CONANP, CONAFOR, PROFEPA, SEMARNAT), un documento de trabajo denominado “Diagnóstico socio-ambiental de subcuencas prioritarias de la Cuenca Lerma Chapala”

Derivado de este documento, en el año 2009 se formula la Estrategia General para el Rescate Ambiental y Sustentabilidad de la cuenca Lerma- Chapala la cual es promovida desde el sector ambiental federal. El objetivo de esta estrategia consiste en establecer un programa regional de desarrollo sustentable que oriente las políticas y lineamientos mediante un enfoque de gestión de los

---

<sup>21</sup> CONAPO (2010) Nivel de marginación por localidad, 2010. Base de datos por localidad. Consejo Nacional de Población.

recursos naturales a través de una planeación adaptativa. Como parte de sus directrices se construyen algunas incipientes recomendaciones, pero se dejan de lado el establecimiento de metas y de mecanismos de evaluación definidos con los cuales se daría algún seguimiento en los avances. Esto trae como consecuencia un desfase entre lo deseado y lo realizado para alcanzar el paradigma de la sustentabilidad.

De esta manera, los acuerdos institucionales son sustento de que la cuenca Lerma Chapala se ha mantenido posicionada como un tema relevante en la agenda ambiental que amerita la atención del gobierno, sin embargo el que se establezca de manera enunciativa la importancia de revertir la degradación ambiental en la cuenca no garantiza que las acciones llevadas a cabo estén dando los resultados deseados. Transitar de la visión de apropiación del recurso hídrico como un recurso inagotable y desarticulado con los demás elementos que integran el ciclo hidrológico (suelo, vegetación, clima, pendientes), hacia una visión que considere las interacciones socio-ambientales aún se vislumbra como un proceso en construcción.

Es así, que como un siguiente paso se requiere trascender hacia la promoción de mecanismos de monitoreo y evaluación con el fin de verificar el cumplimiento, pero sobre todo los efectos provocados por parte de la intervención gubernamental, comparando los alcances logrados a corto, mediano y largo plazo con base en los problemas locales.

En este sentido se ha desarrollado este trabajo, el cual representa un primer esfuerzo de sistematización de las acciones implementadas desde el sector ambiental federal, a manera de evaluación, con el fin de producir información para la toma de decisiones que permita detectar fortalezas y debilidades en la operación de los programas de gobierno que buscan revertir la degradación de la cuenca y que tendrán repercusiones globales en el territorio de la cuenca.

Dicha evaluación debe de ser vista como un primer acercamiento que permita, de manera propositiva, aportar información y recomendaciones para la mejora en los procesos de toma de decisiones y en el re-direccionamiento del gasto público, focalizando las acciones dependiendo del problema que se busca atender con el fin de articular y complementar esfuerzos, más que duplicarlos.

El presente documento muestra de manera espacial la distribución de las acciones en el territorio de la cuenca Lerma Chapala, con base en la información disponible y que pudiera tener un referente geográfico. Con esto queremos recalcar que las acciones sistematizadas en este documento no muestran la totalidad de las mismas y que por lo tanto, representan un esfuerzo que aún debe ser complementado y retroalimentado constantemente por las dependencias del sector ambiental.<sup>22</sup>

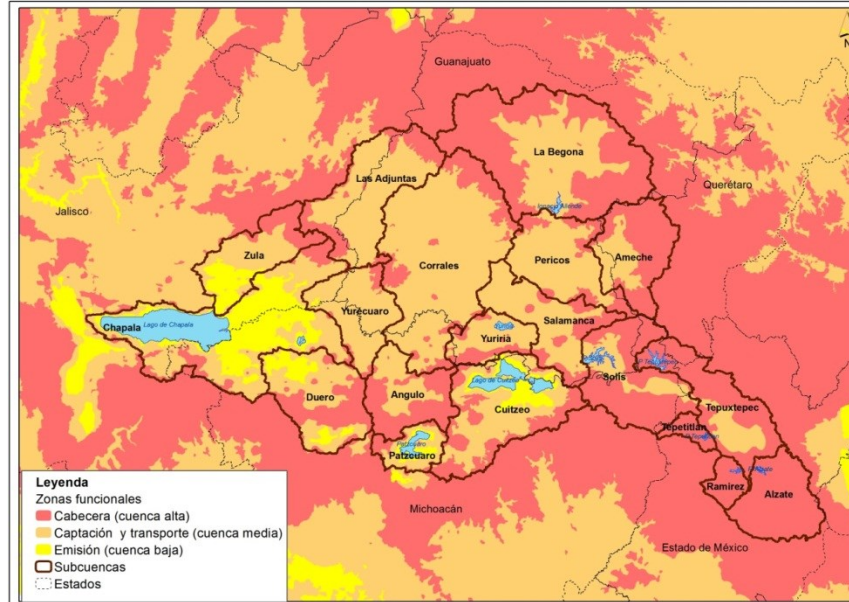
## **2. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LASUBCUENCAS DE LA CUENCA LERMA CHAPALA**

La cuenca Lerma-Chapala se subdivide en 19 subcuencas distribuidas entre las tres zonas funcionales (cabecera, captación, emisión) (Figura 1). La heterogeneidad del relieve de la cuenca explica que varias subcuencas compartan zonas funcionales (Cuadro 2), sin embargo hay tres subcuencas que claramente se encuentran en la parte alta: Tepetitlán, Ramirez y Alzate. A ellas se puede sumar Tepuxtepec, Solís, Ameche y La Begoña que tienen las mayores áreas en las partes altas de la cuenca. En estas subcuencas, el mejoramiento de las condiciones ecológicas y el saneamiento de los ríos constituyen acciones esenciales para mantener el funcionamiento de toda la cuenca.

---

<sup>22</sup> La información recibida para realizar la espacialización de las acciones no se encuentra auditada, por lo cual a pesar de haber realizado un proceso de depuración y análisis, existe la posibilidad de que existan datos erróneos, inexactos e incompletos que pueden imprimirle un grado de subestimación y sesgo a los resultados.





**Figura 1.** Mapa de las subcuencas de la Lerma Chapala, según zonas funcionales y sus estados

### 3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ACCIONES EN LA CUENCA LERMA CHAPALA

Para la realización de la evaluación se consideraron las acciones que el sector ambiental federal ha realizado en la Cuenca Lerma Chapala a través de sus organismos desconcentrados y descentralizados con el fin de mitigar los impactos ambientales. Dicha ejercicio fue el resultado de la elaboración de un informe denominado Evaluación de las acciones realizadas por el sector ambiental en la cuenca Lerma-Chapala. Recomendaciones para programas de política pública.<sup>23</sup> En el caso del presente documento sólo se presentará de manera enunciativa y breve algunos ejemplos de los resultados derivados de dicha evaluación.

Entre las limitaciones que importa resaltar se encuentra la calidad de la información, siendo este un factor que influye mucho en el seguimiento de cualquier intervención por parte del gobierno. En este sentido, los datos que nutren este trabajo son heterogéneos en el tiempo, en las acciones que se ejecutan y en su referencia geográfica.

Con la finalidad de poderlas expresar cartográficamente se procedió a agruparlas mediante categorías que buscaron respetar la tipología de cada acción.

En análisis de la información se concentró en 4 niveles principalmente: primero se realizó una estimación de la distribución del gasto público destinado a toda la cuencas a través de programas promovidos desde el sector ambiental federal a través de sus órganos desconcentrados y descentralizados, siendo que en algunos casos son acciones que se atienden de manera concurrente con los gobiernos de los estados y de los municipios; segundo, se contabilizaron las acciones de cada institución considerando su distribución en la cuenca y en las subcuencas que la componen; tercero, se analizaron el tipo de acciones en función de la problemática y de las recomendaciones establecidas para cada subcuenca<sup>24</sup> y finalmente se emitieron algunas recomendaciones para el

<sup>23</sup> Disponible en [http://www.inec.gob.mx/descargas/dgioece/Evaluacion\\_INECC\\_Cuenca\\_Lerma\\_Chapala.pdf](http://www.inec.gob.mx/descargas/dgioece/Evaluacion_INECC_Cuenca_Lerma_Chapala.pdf)

<sup>24</sup> Las recomendaciones para cada subcuenca se retomaron del Diagnóstico socio-ambiental de subcuencas prioritarias de la cuenca

redireccionamiento de las acciones con el objetivo de tener mecanismos de atención más focalizados dependiendo de la zona funcional que requiera mayor atención dependiendo del principal problema detectado (ej. Deforestación, dotación de agua, erosión de suelos, etc).

#### *Distribución del gasto público*

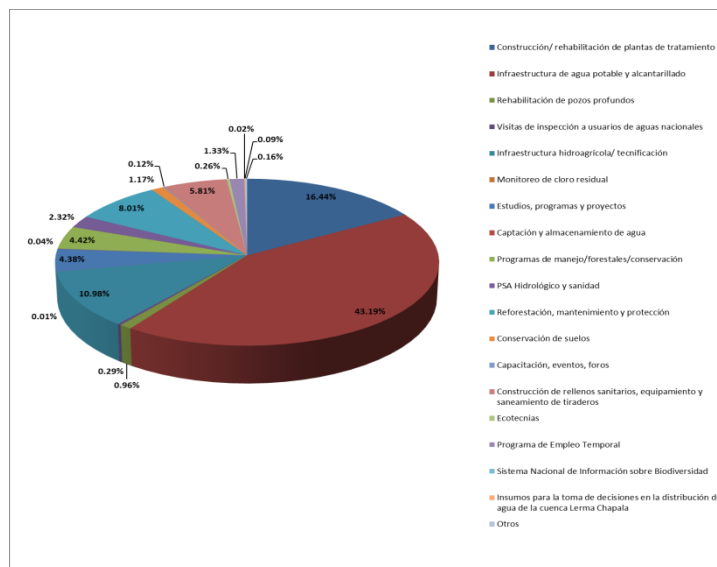
Al considerar las aportaciones realizadas por cada una de las dependencias de gobierno de las cuales se pudo obtener información, se puede observar que por las características propias de las acciones que impulsa (obras hidráulicas principalmente), la CONAGUA es la instancia que más aporta en el presupuesto con \$2,581.78 millones, que representan el 74%. Le siguen la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) con \$539.88 millones que representa el 16% y el sector central<sup>25</sup> de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) con \$275.21 millones que representa el 8%. Por su parte el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la CONABIO tienen aportaciones del rango del 0.51% y 0.02% respectivamente.

Con respecto a las acciones que son apoyadas más dentro de la cuenca, podemos mencionar que poco más del 70% del presupuesto que se tiene contabilizado se destina para obras hidráulicas. La inversión en infraestructura de agua potable y alcantarillado representa el 43.19%, mientras que la construcción/ rehabilitación de plantas de tratamiento consume el 16.44% y la Infraestructura hidroagrícola representa el 11%.

En proporciones más modestas se encuentran las acciones de Reforestación, mantenimiento y protección que representan un 8% del gasto público, mientras que la inversión en residuos sólidos (rellenos sanitarios, equipamiento y saneamiento de tiraderos) representa casi el 6%. Por su parte, el gasto invertido tanto en estudios y proyectos como el que se destina para Programas de manejo (forestal, UMAS, conservación) representan poco más del 4% en ambos casos. Asimismo, se pueden contabilizar recursos destinados para el Pago de Servicios Ambientales y Sanidad Forestal a los que se destina poco más del 2%, mientras que para el caso de acciones de conservación de suelos apenas supera el 1%. (Figura 2)

---

<sup>25</sup> El sector central integra las acciones y el presupuesto que se encuentra disperso en acciones implementadas por diversas direcciones que pertenecen a la estructura interna de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sin que sean considerados organismos desconcentrados o descentralizados, tales como la Dirección General de Fomento Ambiental, Urbano y Turístico (DGFAUT), la Dirección General de Planeación Ambiental Integración Regional y Sectorial (DGPAIRS), Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables (DGSPRNR), la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS), la Unidad Coordinadora de Participación Social y Transparencia (UCPAST) y el Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU).



**Figura 2.** Distribución del gasto público con respecto a las acciones implementadas en la cuenca Lerma Chapala

El panorama anterior nos muestra que en la distribución del presupuesto destinado a atender diversas acciones, aún prevalece la visión de conceptualizar el problema hídrico de la cuenca como un problema únicamente de infraestructura que garantice la distribución del vital líquido hacia sus principales usuarios. Si bien, no se puede negar la importancia de satisfacer las necesidades humanas, estas soluciones aún se encuentran lejanas de resolver un problema de sustentabilidad de la cuenca, que considere de manera integral la estructura y funcionamiento de la misma, garantizando el acceso al recurso hídrico en cantidad y calidad. Al presentarse iniciativas dispersas, que no consideran algunas relaciones causales (ej. Erosión – azolve de infraestructura), se destinan recursos económicos que no logran concretarse en alternativas focalizadas que atiendan las problemáticas locales, incurriendo en un déficit en el cumplimiento de los objetivos ambientales planteados para la recuperación de la cuenca Lerma Chapala.

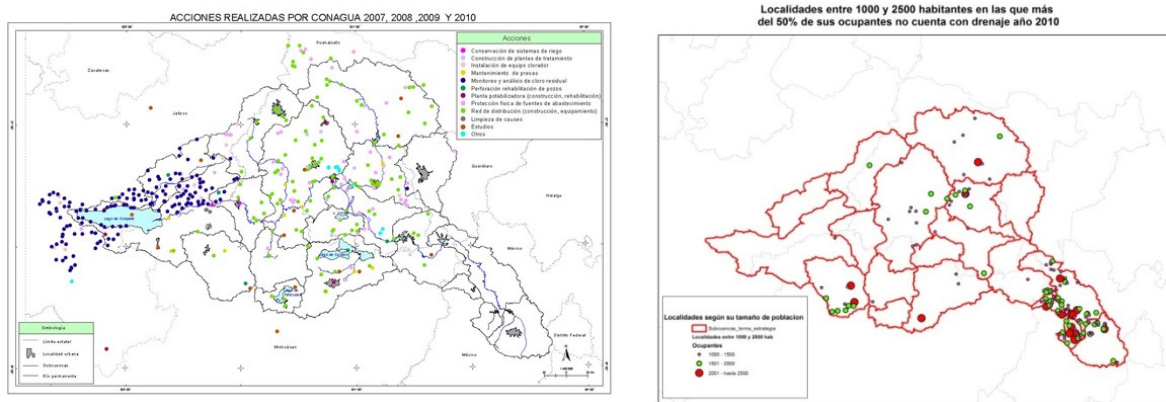
#### *Acciones impulsadas por institución*

En el periodo de 2007 al 2010 la Comisión Nacional del Agua reporto un total de 1199 acciones que pudieron ser espacializadas para el territorio de la cuenca, dado que contaban con algún referente geográfico. Dichas acciones fueron clasificadas en los siguientes temas: 1) Construcción y rehabilitación de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), 2) Construcción, rehabilitación y ampliación de redes de distribución y alcantarillado, 3) Construcción y ampliación de colectores, 4) Equipamiento, 5) Rehabilitación y perforación de pozos profundos, 6) Visitas de inspección a usuarios de aguas nacionales, 7) Protección física de fuentes de abastecimiento, 8) Revestimiento, desazolve y construcción de bordos, 9) Monitoreo de cloro residual, 10) Construcción, mejoramiento y equipamiento de sistemas de riego, 11) Rehabilitación de presas y 12) Otros.

Los datos obtenidos y cartografiables cubren 18 subcuencas. En la única subcuenca en la cual no se tiene registro de acciones durante estos años es Tepetitlán. Si bien la atención ha variado a lo largo de los años, las subcuencas Chapala (zona baja), Ameche (zona alta-media) y Corrales (zona media-alta) han concentrado el 45% de las acciones.

Las acciones más comunes son: la construcción, rehabilitación y ampliación de las redes de distribución y alcantarillado (35.7% de las acciones) y el monitoreo de análisis de cloro residual con 22.7% de las acciones.

Dado que la mayoría de las acciones realizadas por la CONAGUA se realizan en las subcuencas bajas se hace evidente una disociación entre los objetivos de mantener a la cuenca con buena calidad y cantidad del agua y los logros alcanzados. La concentración de esfuerzos en la parte baja de la cuenca tiende a ser sólo la solución final de un problema de acceso a la dotación del recurso como al saneamiento que deviene de las partes altas de la misma como puede apreciarse en la figura 3. Del lado izquierdo pueden apreciarse el acumulado de acciones de la CONAGUA principalmente rodeando la parte baja de Chapala con escasa atención a las subcuencas de Alzate, Tepuxtepec, Ramírez y Tepetitlán que se encuentran en la zona funcional alta que es donde se encuentran el mayor número de localidades entre 1000 y 2500 habitantes con menos del 50% de los ocupantes con acceso a drenaje, así como algunas localidades mayores a 10 mil habitantes donde la cobertura de drenaje y agua potable también es menor a 50% como es el caso de San Bartolo del Llano y San Pedro de los Baños ambas pertenecientes al municipio de Ixtlahuaca.



**Figura 3.** Comparativo de las acciones realizadas en la cuenca Lerma-Chapala por parte de la CONAGUA en el periodo 2007-2010 y las necesidades de infraestructura detectadas con base en el Censo de Población y Vivienda, 2010 INEGI

En lo que respecta a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) se reportan 1677 acciones en el periodo de 2007-2009, cubriendo de manera diferencial las 19 subcuencas que integran la cuenca Lerma-Chapala. El número de acciones fue diferenciado en los 3 años reportados: en 2007 se realizaron 581 acciones en 118 municipios, en 2008 se ejecutaron 611 acciones que se llevaron a cabo en 111 municipios y en 2009 se llevaron a cabo 485 acciones en 92 municipios.

Las principales acciones que se realizan en la zona son: 1) Acciones contra incendios, 2) Apoyos a programas de manejo, 3) Conservación de suelos, 4) Equipamiento, 5) Fortalecimiento comunitario, 6) Hidrológicos, 7) Reforestación, mantenimiento y protección, 8) Sanidad, 9) Estudios y 10) Otros.

Cabe destacar que las acciones más comunes durante los años 2007, 2008 y 2009 constituyen la reforestación, incluyendo el mantenimiento y la protección, los apoyos a programas de manejo y las acciones contra incendios, que abarcan más del 70% de las acciones realizadas.

A nivel de subcuenca se puede observar que la mayoría de los apoyos se concentran en Alzate, Solís, Duero, Cuitzeo, Tepuxtepec y Corrales, es decir las subcuencas situadas en las zonas altas y medias de la cuenca.

Si bien, las acciones de reforestación y conservación de suelos deberían de mejorar las condiciones de infiltración es importante resaltar que esta tiende a estar condicionada por factores como pendiente, tipo de suelo y vegetación natural. En función de esas características cada subcuenca tiene un potencial distinto. En el caso de la cuenca Lerma Chapala, según un estudio

realizado para el Instituto Nacional de Ecología<sup>26</sup>, las subcuencas La Begoña, Pericos, Salamanca y parte de Yurécuaro son las que presentan mayor potencial de infiltración, aunque no son las subcuencas donde se concentra el esfuerzo de reforestación. También cabe señalar que zona de La Begoña presenta mayor vegetación natural, por lo que la atención a esta cuenca resulta primordial. (Fernández, 2012)

Una situación similar se hace evidente con las acciones de conservación de suelos, las cuales se pueden vincular con la capacidad de infiltración y con la degradación de suelos, siendo la Begoña la subcuenca que ambos factores. De igual forma, existe otro grupo de acciones de conservación de suelos que se concentran en la subcuenca Alzate, Tepuxtepec y Solís donde existe un bajo potencial de infiltración pero que estarían encaminadas a atender la disminución de externalidades derivadas del azolvamiento.

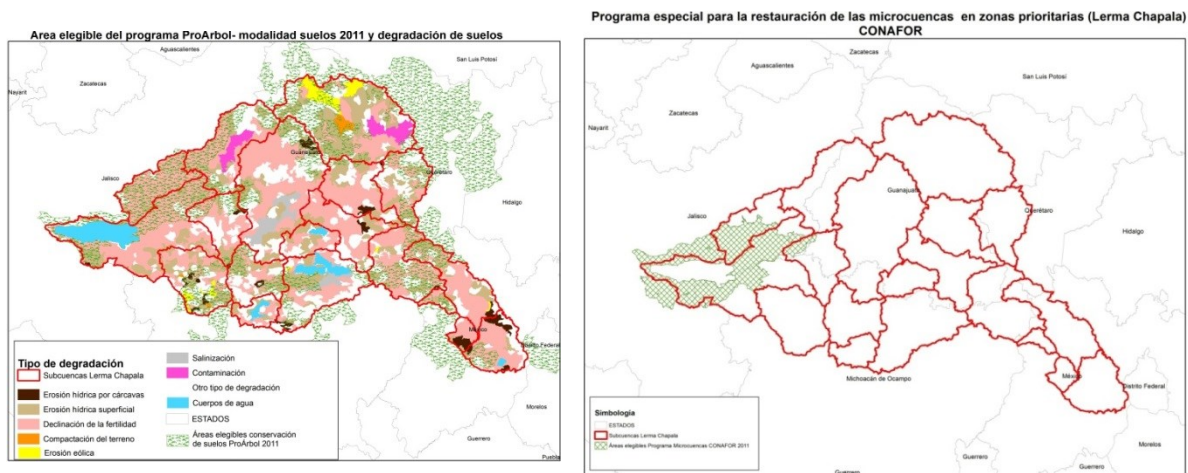
Los suelos de la Cuenca Lerma-Chapala presentan una fuerte problemática de pérdida de fertilidad, cuya rehabilitación pasa por prácticas agronómicas que permitan la incorporación de materia orgánica. No obstante, estas prácticas aún se encuentran ausentes tanto por parte de la Comisión Nacional Forestal como de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

Los criterios de elegibilidad de las reglas de operación (RO) de los programas federales también se vuelven un factor que influye en el direccionamiento de los programas de gobierno y que, en algunos casos, al ser criterios utilizados a nivel nacional pierden la especificidad de problemáticas locales al estar definidos por diagnósticos representados a diferentes escalas de análisis.

Un ejemplo de esto se puede ver con las zonas prioritarias que en su momento fueron consideradas para el ProÁrbol en su modalidad de suelos o, en su caso, las zonas elegibles del Programa Especial para la Restauración de las Microcuencas en Zonas Prioritarias como Lerma Chapala, ambos programas impulsados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (Figura 4) En el caso del primero, existe una coherencia con impulsar apoyos en las zonas altas de la cuenca, sin embargo la principal debilidad del mismo radica en la temporalidad con la que se otorgan los apoyos, ya que estos se asignan con base en el calendario del ejercicio fiscal que acrediten, lo cual no garantiza la adecuación de las acciones con las condiciones climáticas del lugar y mucho menos el seguimiento y mantenimiento, dando como consecuencia niveles de sobrevivencia bajos en el caso de la reforestación, así como abandono de obras y prácticas de conservación de suelos. En el caso del segundo programa, se refiere a subsidios a proyectos multianuales direccionados a la atención de la Cuenca Lerma Chapala básicamente con acciones de plantación, conservación de suelos, protección contra incendios forestales, apoyos por costo de oportunidad por el uso de tierra diferenciada, entre otros. Dicho programa representa la oportunidad de encaminar esfuerzos a las necesidades específicas de la cuenca en materia de recursos forestales y suelos, no obstante una limitante que presenta es el hecho de que el área de actuación se concentra principalmente en la zona baja de la cuenca, es decir en la zona aledaña al lago de Chapala, dejando desprotegidas a las subcuencas ubicadas en la zona alta, por lo cual no se atienden los efectos acumulativos desde la cuenca alta. Sin negar que existan procesos de degradación de suelos en la cuenca baja, estos se relacionan más con acciones de pérdida de fertilidad que se encuentran asociadas principalmente a la agricultura, por lo cual la intervención en dicha zona debería de darse a partir de programas impulsados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través de sus programas de conservación de suelo y agua.

---

<sup>26</sup> El estudio fue realizado por la consultoría Planeación, Desarrollo y Recuperación Ambiental, S.C (PLADEYRA)



**Figura 4.** Comparativo de las áreas prioritarias del Programa de ProÁrbol- modalidad suelos y del Programa Especial para la Restauración de las Microcuencas en Zonas Prioritarias para la cuenca Lerma-Chapala.

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) es otra de las dependencias que ha realizado acciones en la cuenca con 2826 registros que pudieron ser mapeados durante el periodo de 2009 a 2011. Los principales rubros atendidos fueron impacto ambiental e inspecciones forestales y de vida silvestre, siendo la subcuenca de Alzate la que concentraba la mayor parte de las acciones representando el 38% de las mismas en el periodo mencionado, aunque desagregando por años la distribución puede tener variaciones en cuanto al ámbito de actuación como en la intensidad de acciones en una zona, como es el caso de las acciones de inspección de vida silvestre se concentraron en el 2009 en la subcuenca de Corrales.

De la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) organismo desconcentrado de la SEMARNAT sólo se obtuvo el reporte de 14 acciones impulsadas, distribuyéndose todas en la subcuenca Alzate en donde se localizan los municipios de atención de las reglas de operación del Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCOCODES) que forman parte de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de Nevado de Toluca, Ciénegas de Lerma e Insurgentes Miguel Hidalgo y Costilla principalmente. La actividad que tuvo más predominio por parte de dicha institución fue la realización de estudios.

La SEMARNAT a través de diferentes áreas a cargo han encaminado acciones en la zona a atender acciones de conservación de suelos, ecotecnias (estufas ahorradoras, biodigestores, cosecha de agua o baños secos, etc), prácticas agrosilvopastoriles, construcción de presas, reforestación, acciones a través del programa de empleo temporal (PET), acciones de conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre a través de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA), entre otros; siendo que la tendencia se encaminaba hacia acciones en la zona baja de la cuenca o con una alta dispersión que no permite dar señal del efecto positivo de las acciones encaminadas desde el gobierno federal para establecer mecanismos de concurrencia entre dependencias.

#### 4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Como parte de la información proporcionada por el sector ambiental federal, tenemos todas dependencias que componen en sector han estado realizando acciones en la cuenca Lerma-Chapala, aunque la intensidad y carácter de las acciones han sido de diversa índole entre 2007 y 2010. Por otro lado, la espacialidad territorial de las acciones no ha contribuido para un efecto acumulativo entre ellas.

El análisis conjunto de todas las acciones antes mencionadas permite observar una concentración y coincidencia territorial a nivel de subcuencas. De las 19 subcuencas, cinco de ellas reciben especial atención por el sector federal

Subcuencas	Principales Acciones y Dependencias
Chapala	Monitoreo de cloro residual (CONAGUA),  Construcción de un CITIRS y adquisición de equipamiento y saneamiento de tiradero (DGFAUT)  Conservación de suelos, ecotecnias, prácticas agrosilvopastoriles, construcción de presas y reforestación (DGSPRN)  Instalación de riego tecnificado (SAGARPA)
Alzate	Reforestación (CONAFOR),  Acciones PET (DGPAIRS),  Limpieza de lirio acuático (DGVS),  Estudios para obra de relleno sanitario y acciones de recuperación de infraestructura (DGFAUT)
Solís	Estudios para obra de relleno sanitario y adquisición de geomembrana para relleno sanitario (DGFAUT)  Reforestación (CONAFOR)  Limpieza de lirio acuático (DGVS)
La Begoña	Reforestación (CONAFOR),  Acciones PET (DGPAIRS),  Cosecha y Reciclado de Agua para el Desarrollo de la Vivienda Rural, ecotecnias (UCPAST)
Corrales	Construcción, rehabilitación y ampliación de redes de distribución y alcantarillado (CONAGUA)  Ecotecnias (UCD),  Reforestación y conservación de suelos (DGSPRN)

Varios esfuerzos por diagnosticar las condiciones de la cuenca Lerma Chapala han demostrado que las actividades productivas y el inadecuado manejo de los ecosistemas han dejado impactos en todo el territorio de la cuenca, en ecosistemas terrestres, acuáticos y contaminación del aire, de manera disímil espacialmente. La vulnerabilidad de la población ante estos impactos también es distinta. A pesar de los esfuerzos que se han venido realizando a nivel gubernamental, la ausencia de eficientes mecanismos de regulación y la inadecuada planeación territorial, entre otros factores, determinan que los impactos a corto y largo plazo superen las acciones gubernamentales.

En el caso de la Cuenca Lerma Chapala, en los últimos años ha surgido la necesidad, emanada de las problemáticas socio-ambientales, de proceder con estrategias que promuevan su recuperación eco-hidrológica. Sin embargo, el impulso de estas iniciativas debe de estar acompañada de mecanismos de evaluación que den señales de los avances en la materia, y en su caso, la reformulación de estrategias.

Con base en la información, aun parcial, del presupuesto que se ha ejercido en la cuenca a través de diferentes programas de gobierno se puede concluir que aún tienen un peso importante las obras hidráulicas en la zona (aproximadamente el 70% del gasto se invierte en ello), que si bien, resultan necesarias dependiendo del problema a atender, no contemplan la estructura y funcionamiento de la cuenca de manera integral. En este sentido, la inversión que se destina a acciones de conservación (reforestación, conservación de suelos y de vida silvestre, programas de manejo, entre otros), tienen limitaciones en la asignación de presupuesto, por lo que su impacto puede resultar disperso en el territorio de la cuenca.

Aunado a esto, debe de considerarse el diseño de los programas de gobierno, que en su afán de dar respuesta a la dicotomía de cobertura/focalización, tienden a establecer criterios de prelación que promueven de manera generalizada el acceso de la población a programas gubernamentales (marginación, cantidad de población beneficiada, coparticipación entre órdenes de gobierno), alejándose en algunos casos de los objetivos ambientales que debe de fomentar, o en el caso de los recursos focalizados, no se definen zonas prioritarias con base en los diagnósticos de la zona, limitando la eficiencia y efectividad de las acciones.

Cuando se comparan la tipología de las acciones con la problemática de las subcuencas, se observa que las acciones no siempre tienen la especificidad necesaria para abordar el tipo de problemas particulares de cada sub-región.

Algunos ejemplos de ello, constituye la ausencia de acciones relacionadas con el manejo y disposición final de los residuos sólidos peligrosos que es trascendente en las subcuencas del río Duero y del lago Chapala o bien la problemática de la contaminación por agroquímicos presente en las subcuencas del río Zula, Lerma, Pátzcuaro y Angulo, cada una con sus particularidades.

Otro tema recurrente y poco atendido se refiere al de las descargas industriales que contaminan los ríos en las subcuencas del río Zula (tequileras) Solís (granjas porcícolas), Angulo, Duero y el Lago Chapala.

La propuesta de modificación de los programas de algunas de las dependencias del sector ambiental federal coadyuvaría a su coincidencia territorial, lo cual podría favorecer un impacto acumulativo positivo. La gestión integral de una cuenca requiere la coordinación y cooperación entre actores, para lo cual se requiere de un fuerte liderazgo y compromiso con una visión integral, más que sectorial. Un primer paso fue la planeación de las acciones en función de la problemática previamente determinada con una visión común (GTT). Otros pasos importantes en este sentido son:

- La adopción de la Estrategia de rescate y sustentabilidad por parte del Consejo de cuenca.
- La elaboración de programas y la implementación de acciones por parte de las dependencias del sector ambiental federal en función de los diagnósticos ya establecidos (y no en función de reglas que responden a una escala nacional)
- El monitoreo de las acciones realizadas y la evaluación de su impacto en la integridad de los ecosistemas, lo cual posibilitaría conocer la efectividad de los programas del sector ambiental y su grado de coordinación, además posibilitaría la:
- La actualización de la estrategia de rescate y sustentabilidad de la cuenca Lerma-Chapala



Además es necesario interactuar con actores sociales. La cuenca Lerma-Chapala cuenta con diversas organizaciones sociales que implementan acciones, muchas de ellas de manera participativa con la población. Varias de estas organizaciones se encuentran actualmente asociadas en una Red de subcuencas, de creación incipiente, pero que se podría articular para una acción conjunta.

El análisis de los programas implementados por las dependencias del sector ambiental federal muestran que éstos deben ser sujetos a modificaciones para (i) lograr una mejor focalización territorial y social y con ello incrementar su impacto, (ii) modificar las acciones de estos programas para que estén acorde a la problemática de la cuenca, (iii) modificar las reglas de operación de los programas para ser más eficientes, (iv) identificación de sinergias entre los distintos programas, (v) recomendaciones de temas de investigación que apoyen la política pública.

## REFERENCIAS

- Cotler H., Mazari M., de Anda J. (Eds.) 2006. Atlas de la cuenca Lerma-Chapala, construyendo una visión conjunta. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT y Instituto de Ecología- UNAM, México 196 p.
- Cotler H. C. Enriquez, K. Ruiz y V. Bunge. 2013. Evaluación de las acciones realizadas por el sector ambiental en la cuenca Lerma-Chapala. Recomendaciones para programas de política pública. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 115 p. Disponible en: [http://www.ine.gob.mx/descargas/dgioece/Evaluacion\\_INECC\\_Cuenca\\_Lerma\\_Chapala.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/dgioece/Evaluacion_INECC_Cuenca_Lerma_Chapala.pdf)
- CIDRS. (2007). *Programa Especial Concurrente 2007-2012*. México: Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Comisión Intersecretarial para el Desarrollo Rural Sustentable.
- Grupo Técnico de Trabajo. 2007 Diagnóstico socio-ambiental de subcuencas prioritarias de la cuenca Lerma-Chapala. Documento de Trabajo. Elaborado por INE, IMTA, CONAGUA, CONABIO, CONAFOR, CONANP, PROFEPA, SEMARNAT, 73pp.
- Fernández T. 2012. Análisis del cambio de uso de suelo y estado actual de la vegetación en la subcuenca Ignacio Allende, Guanajuato. Estudio contratado por el Instituto Nacional de Ecología.
- IMTA-SEMARNAT. 2009. Estrategia general para el rescate ambiental y sustentabilidad de la cuenca Lerma-Chapala, SEMARNAT, 268p.
- PLADEYRA. 2003. Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma-Chapala. Estudio contratado por el Instituto Nacional de Ecología, 135 p. Disponible en: [http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/estudio\\_hidrologico\\_clch.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/estudio_hidrologico_clch.pdf)



# MESA VI

## GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



# CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO, MÉXICO

David ORTEGA-GAUCIN

Instituto del Agua del Estado de Nuevo León (IANL), Alianza Norte 306, Parque de Investigación e Innovación Tecnológica, Apodaca, N.L. email: ortega.gaucin@ianl.org.mx

## RESUMEN

En este trabajo se realiza la caracterización de los períodos de sequía hidrológica registrados históricamente en la sección mexicana de la cuenca del río Bravo, a partir del análisis de las aportaciones de agua a las presas de almacenamiento que se ubican en los principales afluentes mexicanos de este río. Los resultados indican que en más del 60% de los años analizados se presentó algún grado de sequía, con aportaciones inferiores a la media histórica de hasta -97%, y períodos secos que van de uno a 13 años consecutivos. Se concluye que en la mayor parte de la cuenca ocurrió un período de sequía extraordinaria que se extendió prácticamente a lo largo de 14 años (1992-2005), y fue el más severo y prolongado del cual se tiene registro.

**Palabras clave:** Sequía, Déficit Hídrico, Río, Presa de Almacenamiento, Distrito de Riego.

## 1 INTRODUCCIÓN

La sequía es considerada como un fenómeno climático recurrente caracterizado por una reducción en la precipitación pluvial, que no presenta trayectorias definidas y que tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y el espacio. La severidad de una sequía depende no solamente del grado de reducción de la lluvia, su duración o su extensión geográfica, sino también de las demandas del recurso hídrico para la permanencia de los sistemas naturales y para el desarrollo de las actividades humanas (Wilhite y Glantz, 1985; Mckee *et al.*, 1993; Wilhite, 2000; Nalbantis, 2008).

Uno de los sistemas hidrológicos más importantes de México donde el problema de la sequía es una situación frecuente, es la cuenca del río Bravo. Esta cuenca ha sido objeto de múltiples foros, estudios y debates en los últimos años debido a que su problemática ha adquirido una connotación socioeconómica, ambiental y binacional (Linares, 2004; CILA, 2005, 2011 y 2012). La mayor parte de la cuenca se ubica en una zona que, por sus características climáticas, se considera árida o al menos semiárida, presentándose un alto grado de variación en la disponibilidad del recurso hídrico, por lo que los diferentes sectores son altamente vulnerables a los impactos producidos por las sequías y el uso inapropiado del agua.

La demanda de agua en la cuenca se ha acentuado conforme se ha incrementado la acelerada urbanización e industrialización de la zona fronteriza; y la competencia por el agua entre los usuarios –principalmente agrícolas– tanto en la parte alta y baja de la cuenca, como en ambos lados de la frontera entre México y Estados Unidos, han generado diversas controversias locales, regionales e incluso internacionales (Linares, 2004). En efecto, por sus características de río

internacional, el uso de las aguas del río Bravo y las de la mayoría de sus afluentes, está sujeto a las regulaciones establecidas en el “Tratado sobre distribución de aguas internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América”, celebrado en el año de 1944, así como a las vedas que sobre su uso se establecieron en 1953 y 1955. Con relación al tratado, es importante señalar que una parte de las aguas del río Bravo y de sus afluentes mexicanos se asigna a los EUA; es decir, una tercera parte del volumen de agua que llegue a la corriente principal del río Bravo procedente de los ríos Conchos, San Diego, San Rodrigo, Escondido, Salado y Arroyo de las Vacas. El tratado estipula que México debe entregar a EUA un volumen mínimo promedio anual de 431.72 hm<sup>3</sup> en ciclos que se contabilizan cada cinco años; es decir, al final de cada ciclo el volumen mínimo de entrega es de 2158.6 hm<sup>3</sup>, y en caso de no cumplir con esta cuota por causa de sequía extraordinaria, el adeudo se acumula para el siguiente ciclo, y se paga con agua procedente en su mayor parte de la cuenca del río Conchos (CILA, 2008).

En este sentido, debido a las presiones que se tienen para aumentar los aprovechamientos de las aguas del río Bravo y dadas las características de sus aguas internacionales y los compromisos que se tienen con los EUA, es muy importante que se hagan respetar las vedas establecidas desde 1953; pues diversos estudios han comprobado que el flujo del recurso hídrico hacia el río Bravo proveniente de sus tributarios, como el río Conchos localizado en la parte alta de la cuenca, su principal afluente mexicano, se han reducido significativamente durante los últimos años (COLPOS, 2008).

En este contexto, aunque en la práctica puede ser sumamente difícil predecir la ocurrencia de un período de sequía, el conocimiento y análisis continuos de las diversas fuentes de abastecimiento y el entendimiento del impacto de las sequías históricas registradas, pueden ayudar a los planeadores y operadores de los sistemas hidráulicos e hidrológicos a anticiparse a los efectos de la sequía (Wilhite, 1991). Por ello, el presente trabajo tiene como finalidad principal, realizar la caracterización de los períodos de sequía hidrológica registrados históricamente en la cuenca del río Bravo (sección mexicana).

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 ÁREA DE ESTUDIO**

La cuenca del río Bravo se ubica en la frontera entre México y Estados Unidos y pertenece a la Región Hidrológica No. 24 (Figura 1a), la cual comprende tres subregiones: Poniente, Oriente y Oriente Bajo Río Bravo. El área de estudio comprende el tramo del río Bravo que va desde Fort Quitman hasta la presa internacional Falcón, abarca las dos primeras subregiones hidrológicas mencionadas anteriormente. La cuenca del río Bravo hasta la cortina de la presa internacional Falcón tiene un área de 415 757 km<sup>2</sup>, de los que aproximadamente 188 459 km<sup>2</sup> pertenecen a México y 227 298 km<sup>2</sup> a Estados Unidos. El principal uso que tienen las aguas mexicanas del río Bravo y sus afluentes es agrícola. Además de las unidades de riego distribuidas en la cuenca, se tienen 10 distritos de riego que dominan un área aproximada de 450 661 ha, y para la regulación del agua tienen nueve presas de almacenamiento, más las dos presas internacionales, La Amistad y Falcón (Figura 1b).



Bravo	La Amistad	1,702.5	1969-2011	38
San Diego	Centenario	24.7	1985-2011	22
San Diego	San Miguel	20.2	1985-2011	22
San Rodrigo	La Fragua	45.0	1932-2011	75
Salado	Venustiano Carranza	1,312.9	1930-2011	77
Bravo	Falcón	1,355.2	1969-2011	38

Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA (2012).<sup>†</sup>

En el caso de las presas La Amistad y Falcón, los datos corresponden solamente a la parte mexicana, y fueron proporcionados por la Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y los Estados Unidos de América (CILA).

Asimismo, en la Tabla 2 se presenta un resumen de las estadísticas básicas de los registros de aportaciones históricas de las presas de almacenamiento analizadas.

**Tabla 2.** Estadísticas básicas de las aportaciones a las presas de almacenamiento.

Presa de almacenamiento	Media (hm <sup>3</sup> año <sup>-1</sup> )	Mediana (hm <sup>3</sup> año <sup>-1</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> año <sup>-1</sup> )	Mínimo (hm <sup>3</sup> año <sup>-1</sup> )	Desv. Estándar (hm <sup>3</sup> )	C.V. (%)
San Gabriel	144.8	102.5	603.0	10.9	130.4	90
La Boquilla	1151.0	936.8	3492.1	137.4	720.2	63
Fco. I. Madero	358.5	294.0	1043.9	27.8	242.5	68
Luis L. León	521.9	505.9	1259.8	43.4	320.8	61
La Amistad	918.0	778.3	2340.9	353.6	517.5	56
Centenario	19.4	16.7	53.2	8.6	10.7	55
San Miguel	16.2	16.9	28.5	0.7	5.9	36
La Fragua	94.7	53.6	511.0	2.9	111.3	118
Venustiano Carranza	428.1	252.2	2523.9	35.0	465.0	109
Falcón	639.0	475.8	3274.4	148.5	604.5	95

Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA y CILA (2012).

## 2.2 ANÁLISIS DE LA SEQUÍA HIDROLÓGICA

En la literatura se reconoce que existen diferentes tipos de sequía, los cuales están determinados por los tipos de impactos que trae como consecuencia el fenómeno (Wilhite y Glantz, 1985; Wilhite, 2000). Así, se habla de sequía desde el punto de vista meteorológico (McKee *et al.*, 1993; Barakat y Handoufe, 1998; Bergaoui y Alouini, 2001), hidrológico (Barakat y Handoufe, 1998; Nalbantis, 2008), agrícola (Bootsma *et al.*, 1996; Barakat y Handoufe, 1998), y socio-económico (Barakat y Handoufe, 1998; Bergaoui y Alouini, 2001). Sin embargo, los diferentes tipos de sequía se deben a una disminución de la lluvia en uno o varios años con respecto a la considerada como normal (generalmente la media de los datos observados) en una zona o región determinada. De esta manera, en la gran mayoría de las definiciones de sequía propuestas por los diferentes autores, la relación entre el suministro de agua en un momento dado y el considerado como normal, juegan un papel importante.

En el caso específico de la sequía hidrológica, para analizar el fenómeno varios autores utilizan como datos hidrométricos, por ejemplo, las aportaciones a las presas, el caudal de entrada o el



balance integral del ciclo hidrológico a escala de una cuenca aforada, en este caso una presa de almacenamiento (Mckee *et al.*, 1993; Fournier, 2001; Bergaoui y Alouini, 2001; Bordi y Sutera, 2007; Nalbantis, 2008). El hecho de obtener los parámetros estadísticos de una muestra de valores de aportaciones anuales, permite conocer la media, variación y sesgo, y sobre el valor medio se establecen anomalías: positivas en los excesos y negativas en los déficits. Esto en sí mismo es una manera de caracterizar el fenómeno: las diferencias o desviaciones de cada período respecto a su media (Nalbantis, 2008). Estos valores sirven para identificar y analizar las consecuencias directas de la variación de precipitaciones sobre la producción de escurrimiento que en periodos largos de escasez de lluvia se traduce como una sequía hidrológica. A partir de series de datos hidrométricos históricos, se establece una media del componente hidrológico seleccionado, y a partir de esa media, se determina el déficit o incremento del componente seleccionado (Velasco *et al.*, 2005). Es más común encontrar análisis de sequía hidrológica con datos de entradas anuales de una presa con área de captación bien definida (a escala de cuenca o subcuenca), donde existen algunas estructuras hidráulicas bien instrumentadas con mediciones periódicas (diarias, semanales o mensuales).

En este contexto, para los propósitos del presente trabajo en el cual se analiza la sequía desde el punto de vista hidrológico, se considera como *año seco* cualquier año en que las aportaciones o escurrimientos que ingresan a una presa de almacenamiento son menores al valor de la media aritmética de los registros históricos, por lo que la *sequía hidrológica* es un período de años secos consecutivos. Así, se puede decir que un período de sequía hidrológica inicia y termina con el primer y el último año seco consecutivo, respectivamente.

Desde el punto de vista de la operación de presas de almacenamiento, para suministrar los volúmenes de agua a los usos público-urbano, industrial y agrícola, hay dos parámetros que son importantes para la caracterización de las sequías hidrológicas: la duración y la severidad (Barakat y Handoufe, 1998; Bergaoui y Alouini, 2001; Velasco *et al.*, 2005; Nalbantis, 2008):

a) *Duración (D)*: número de años consecutivos con aportaciones inferiores a la media, adimensional,

$$D = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (1)$$

donde:  $t_i$  = Año  $i$  con aportaciones de agua inferiores a la media, adimensional;  $i$  = Índice del número de años, adimensional;  $n$  = número de años con registro, adimensional.

b) *Severidad (S)*: volumen deficitario acumulado en todo el período de sequía,  $\text{hm}^3$ ,

$$S = \sum_{i=1}^n x_i - \bar{x}, \quad (2)$$

donde:  $x_i$  = Aportación de agua en el año  $i$ ,  $\text{hm}^3$ ;  $\bar{x}$  = Aportación media de agua,  $\text{hm}^3$ .

En el presente trabajo se considera que la severidad permite definir la *sequía hidrológica extraordinaria*, para un registro de períodos de sequía ocurridos en una cuenca o presa de almacenamiento, como la que tiene la severidad máxima ( $S_{max}$ ), es decir, el mayor volumen deficitario acumulado en todo el período de sequía. A su vez, se propone el concepto de severidad

relativa ( $S_r$ ), que sirve para clasificar la ocurrencia de las sequías en ligeras, intensas y extraordinarias, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$S_r = \frac{S_j}{S_{max}}, \quad (3)$$

donde:  $S_j$  = Severidad de la sequía  $j$ ,  $\text{hm}^3$ ;  $j$  = Índice de sequías, adimensional;  $S_{max}$  = Severidad máxima,  $\text{hm}^3$ .

En la Tabla 3 se presentan los rangos de los valores de la severidad relativa que se proponen y se utilizan en este artículo para clasificar las sequías hidrológicas.

**Tabla 3.** Clasificación de las sequías hidrológicas con base en la severidad relativa.

Tipo de sequía	$S_r$
Ligera	0.01 a 0.25
Intensa	0.26 a 0.99
Extraordinaria	1.00

Fuente: elaboración propia.

De esta manera, con base en las definiciones y parámetros descritos anteriormente, se realizó el análisis y caracterización de los períodos de sequía hidrológica ocurridos históricamente en los afluentes mexicanos del río Bravo, mediante el análisis de las desviaciones de las aportaciones de agua con respecto a la media histórica en cada presa de almacenamiento.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 4 se presentan las estadísticas de las aportaciones anuales mínimas de las presas de almacenamiento. Como se puede observar, en todas las presas analizadas, el número de años secos es igual o superior al 50%, y se han registrado períodos secos de máxima duración desde cuatro hasta 13 años consecutivos, con déficit máximo de aportaciones respecto a la media desde -55.6% hasta -97.0%. Se observa también que los años más secos en la mayoría de los casos, se ubican en las décadas de los 50's y de los 90's, así como a principios del presente siglo.

**Tabla 4.** Estadísticas de las aportaciones anuales mínimas.

Presa de almacenamiento	Años con registro (No. años)	Años secos		Período de sequía más largo		Déficit máximo de aportaciones respecto a la media	
		No. años	%	Período	No. años	%	Año de registro
San Gabriel	64	41	64.0	1997-2005	9	-92.4	1994
La Boquilla	72	46	63.8	1997-2005	9	-88.1	1951
Fco. I. Madero	58	36	62.0	1997-2005	9	-92.2	1994

Luis L. León	58	31	53.4	1994-2006	13	-92.0	1996
La Amistad	38	25	65.7	1994-2006	13	-61.2	2001
Centenario	22	16	72.7	1999-2006	8	-55.6	1992
San Miguel	22	11	50.0	1992-1995	4	-95.4	1988
La Fragua	75	52	69.3	1950-1957	8	-97.0	1956
V. Carranza	77	48	62.3	1947-1957	11	-91.8	1956
Falcón	38	26	68.4	1993-2002	10	-76.8	2000

Fuente: elaboración propia.

En las Tablas 5 al 14 se presenta: la duración, severidad, severidad relativa y el tipo de sequía correspondiente a cada uno de los períodos de sequía hidrológica ocurridos históricamente en las presas de almacenamiento analizadas. A continuación se analiza cada una de ellas por separado.

En el caso de la presa San Gabriel (Tabla 5), que se alimenta de las aguas que escurren en el río Florido, se detectaron al menos cinco períodos de sequía prolongada (con duración mayor o igual de cuatro años); el período de sequía extraordinaria fue de nueve años (1997-2005), con un déficit acumulado en las aportaciones de  $-790.1 \text{ hm}^3$ . A este período le antecede otro período de sequía intensa de cuatro años (1992-1995), con un solo año húmedo que los separa (1996), por lo que se afirma que prácticamente el último período de sequía ocurrido en esta presa abarcó desde el año 1992 hasta el año 2005.

**Tabla 5.** Períodos de sequía hidrológica en la presa San Gabriel.

<b>Año Inicial</b>	<b>Año Final</b>	<b>Duración (No. años)</b>	<b>Severidad (<math>\text{hm}^3</math>)</b>	<b>Severidad relativa</b>	<b>Tipo de sequía</b>
1945	1946	2	-56.4	0.07	Ligera
1948	1948	1	-86.8	0.11	Ligera
1950	1954	5	-352.1	0.45	Intensa
1956	1957	2	-161.0	0.20	Ligera
1959	1959	1	-44.2	0.06	Ligera
1961	1965	5	-352.6	0.45	Intensa
1969	1972	4	-200.0	0.25	Ligera
1975	1975	1	-40.5	0.05	Ligera
1977	1977	1	-70.4	0.09	Ligera
1979	1980	2	-208.2	0.26	Intensa
1982	1983	2	-209.6	0.27	Intensa
1985	1985	1	-92.9	0.12	Ligera
1989	1989	1	-93.8	0.12	Ligera

1992	1995	4	-379.2	0.48	Intensa
1997	2005	9	-790.1	1.00	Extraordinaria
2007	2007	1	-53.6	0.07	Ligera
2009	2009	1	-52.4	0.07	Ligera
2011	2011	1	-101.6	0.13	Ligera

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, la presa La Boquilla (Tabla 6), que almacena y regula las aguas del río Conchos, presenta un comportamiento muy similar a la presa San Gabriel. En esta presa también ocurrieron cinco períodos de sequía prolongada (con duración mayor o igual de cuatro años); el período de sequía extraordinaria fue de nueve años (1997-2005), con un déficit acumulado en las aportaciones con relación a la media de  $-4,343.2 \text{ hm}^3$ . Entre este período y el que le antecede con duración de cuatro años (1992-1995), existe solamente un año húmedo (1996), por lo cual se considera que prácticamente el período de sequía extraordinaria se extendió desde el año 1992 hasta el año 2005.

**Tabla 6.** Períodos de sequía hidrológica en la presa La Boquilla.

<b>Año Inicial</b>	<b>Año Final</b>	<b>Duración (No. años)</b>	<b>Severidad (<math>\text{hm}^3</math>)</b>	<b>Severidad relativa</b>	<b>Tipo de sequía</b>
1935	1935	1	-239.9	0.06	Ligera
1937	1937	1	-283.3	0.07	Ligera
1939	1940	2	-619.3	0.14	Ligera
1945	1946	2	-566.4	0.13	Ligera
1948	1948	1	-695.0	0.16	Ligera
1950	1954	5	-3,154.0	0.73	Intensa
1956	1957	2	-1,503.1	0.35	Intensa
1959	1959	1	-384.3	0.09	Ligera
1961	1965	5	-2,179.2	0.50	Intensa
1967	1967	1	-30.0	0.01	Ligera
1969	1972	4	-909.2	0.21	Ligera
1975	1977	3	-561.6	0.13	Ligera
1979	1979	1	-380.5	0.09	Ligera
1982	1983	2	-785.4	0.18	Ligera
1985	1985	1	-264.2	0.06	Ligera
1987	1987	1	-240.2	0.06	Ligera
1992	1995	4	-2,121.5	0.49	Intensa
1997	2005	9	-4,343.2	1.00	Extraordinaria
2007	2007	1	-285.0	0.07	Ligera
2009	2009	1	-162.8	0.04	Ligera
2011	2011	1	-886.5	0.20	Ligera

Fuente: elaboración propia.

Algo similar a los dos casos anteriores ocurre en la presa Fco. I. Madero (Tabla 7), alimentada por los escurrimientos del río San Pedro, donde se observa que han ocurrido al menos cuatro períodos de sequía prolongada (con duración mayor o igual de cuatro años); el período de sequía extraordinaria fue de nueve años (1997-2005), con un déficit acumulado en las aportaciones de -1,266.6 hm<sup>3</sup>. Entre este período de sequía y el que le antecede (1992-1995), existe solamente un año húmedo (1996), por lo que, al igual que en las dos presas anteriores, se considera de manera práctica que el último período de sequía se extendió desde el año 1992 hasta el año 2005. Asimismo, analizando las aportaciones de agua provenientes del río Conchos que se almacenan en la presa Luis L. León (Tabla 8), se observa se han presentado tres períodos de sequía con duración mayor o igual de cuatro años. En este caso el período de sequía extraordinaria fue de 14 años (1994-2007), con un déficit acumulado en las aportaciones de -5,284.6 hm<sup>3</sup>.

**Tabla 7.** Períodos de sequía hidrológica en la presa Fco. I. Madero.

<b>Año Inicial</b>	<b>Año Final</b>	<b>Duración (No. años)</b>	<b>Severidad (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Severidad relativa</b>	<b>Tipo de sequía</b>
1950	1953	4	-584.4	0.46	Intensa
1956	1957	2	-459.4	0.36	Intensa
1961	1965	5	-592.8	0.47	Intensa
1967	1967	1	-43.5	0.03	Ligera
1969	1970	2	-165.6	0.13	Ligera
1973	1973	1	-64.4	0.05	Ligera
1977	1977	1	-191.5	0.15	Ligera
1979	1979	1	-25.5	0.02	Ligera
1982	1983	2	-461.3	0.36	Intensa
1985	1985	1	-189.3	0.15	Ligera
1987	1989	3	-370.7	0.29	Intensa
1992	1995	4	-855.8	0.68	Intensa
1997	2005	9	-1,266.6	1.00	Extraordinaria
2007	2007	1	-134.8	0.11	Ligera
2009	2009	1	-115.7	0.09	Ligera
2011	2011	1	-248.7	0.20	Ligera

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 8.** Períodos de sequía hidrológica en la presa Luis L. León.

<b>Año Inicial</b>	<b>Año Final</b>	<b>Duración (No. años)</b>	<b>Severidad (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Severidad relativa</b>	<b>Tipo de sequía</b>
1949	1957	9	-2,230.4	0.42	Intensa
1959	1959	1	-57.4	0.01	Ligera

1962	1965	4	-339.7	0.06	Ligera
1967	1967	1	-56.8	0.01	Ligera
1969	1969	1	-12.1	0.00	Ligera
1982	1983	2	-90.6	0.02	Ligera
1994	2007	14	-5,284.6	1.00	Extraordinaria
2009	2009	1	-161.5	0.03	Ligera
2011	2011	1	-304.0	0.06	Ligera

Fuente: elaboración propia.

La gran similitud existente en el comportamiento de las aportaciones y los períodos secos ocurridos en las presas San Gabriel, La Boquilla, Fco. I. Madero y Luis L. León, se explica fácilmente porque todas estas presas se ubican dentro de la subcuenca hidrológica del río Conchos y son alimentadas por dicho río (en el caso de las presas La Boquilla y Luis L. León) y por sus afluentes (en el caso de las presas San Gabriel y Fco. I. Madero). Lo anterior pone de manifiesto la gravedad del problema de la sequía en la subcuenca del río Conchos, que se prolongó prácticamente durante 14 años (1992-2005). Este problema de la escasez de agua ha afectado de manera significativa a todos los usuarios del vital líquido en la cuenca, pero principalmente se han visto afectados los usuarios de los distritos de riego 005 Delicias, 090 Bajo Río Conchos y 103 Río Florido, ubicados en el estado de Chihuahua. En estos distritos, en algunos años se han llegado a reducir hasta en un 80% las superficies que se riegan con aguas superficiales, pero el problema se ha mitigado aumentando las extracciones del acuífero, con el consecuente aumento en los costos de operación y encarecimiento de los bienes y servicios en la región. No obstante, la productividad del agua se ha ido incrementando debido a que cuando el agua es escasa, los agricultores tienden a sembrar solamente los cultivos más rentables (Ortega-Gaucin *et al.*, 2009).

Por otra parte, continuando con el análisis y caracterización de la sequía, en el Tabla 9 se presentan los períodos de sequía hidrológica registrados históricamente en la presa internacional La Amistad. Esta presa almacena los escurrimientos del río Bravo, y se observa que el período de sequía extraordinaria fue de 14 años (1994-2007), con un déficit acumulado en las aportaciones con relación a la media de -6,022.0 hm<sup>3</sup>.

**Tabla 9.** Períodos de sequía hidrológica en la presa La Amistad.

<b>Año Inicial</b>	<b>Año Final</b>	<b>Duración (No. años)</b>	<b>Severidad (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Severidad relativa</b>	<b>Tipo de sequía</b>
1969	1973	5	-1,100.4	0.18	Ligera
1975	1978	3	-714.2	0.12	Ligera
1982	1983	2	-410.7	0.07	Ligera
1985	1985	1	-76.4	0.01	Ligera
1989	1989	1	-191.3	0.03	Ligera
1994	2007	14	-6,022.0	1.00	Extraordinaria

Fuente: elaboración propia.

De igual manera, los periodos de sequía hidrológica ocurridos en la presa Centenario se observan en la Tabla 10. En esta presa, que almacena los escurrimientos del río San Diego, han ocurrido dos periodos de sequía prolongada con duración mayor o igual de cuatro años consecutivos; el periodo más prolongado fue el de sequía extraordinaria con duración de ocho años (1999-2006), cuyo déficit acumulado es de  $-37.4 \text{ hm}^3$ . Sin embargo, entre dicho periodo y el que le antecede (1994-1997), solamente existe un año húmedo que los separa (1996), por lo cual se considera que prácticamente el último periodo de sequía se extendió desde el año 1994 hasta el año 2006.

**Tabla 10.** Periodos de sequía hidrológica en la presa Centenario.

<b>Año Inicial</b>	<b>Año Final</b>	<b>Duración (No. años)</b>	<b>Severidad (<math>\text{hm}^3</math>)</b>	<b>Severidad relativa</b>	<b>Tipo de sequía</b>
1985	1985	1	-2.7	0.07	Ligera
1987	1987	1	-10.3	0.28	Intensa
1991	1992	2	-13.0	0.35	Intensa
1994	1997	4	-17.9	0.48	Intensa
1999	2006	8	-37.4	1.00	Extraordinaria
2009	2011	3	-4.8	0.13	Ligera

Fuente: elaboración propia.

En la presa San Miguel, cuyos periodos de sequía hidrológica se presentan en la Tabla 11, solamente ha ocurrido un periodo de sequía prolongada con duración de cuatro años consecutivos (1992-1995); no obstante, el periodo de sequía extraordinaria fue de sólo dos años (1988-1989), y presentó un déficit acumulado en las aportaciones de  $-19.4 \text{ hm}^3$ .

**Tabla 11.** Periodos de sequía hidrológica en la presa San Miguel.

<b>Año Inicial</b>	<b>Año Final</b>	<b>Duración (No. años)</b>	<b>Severidad (<math>\text{hm}^3</math>)</b>	<b>Severidad relativa</b>	<b>Tipo de sequía</b>
1988	1989	2	-19.4	1.00	Extraordinaria
1992	1995	4	-8.9	0.46	Intensa
1997	1998	2	-3.2	0.16	Ligera
2001	2001	1	-8.5	0.44	Intensa
2004	2004	1	-2.6	0.13	Ligera
2006	2006	1	-3.1	0.16	Ligera
2010	2011	2	-6.1	0.31	Intensa

Fuente: elaboración propia.

En la presa La Fragua (Tabla 12), que almacena las aguas que escurren por el río San Rodrigo, han ocurrido al menos seis periodos de sequía hidrológica prolongada (con duración mayor o igual a cuatro años). El periodo de sequía extraordinaria fue de ocho años (1950-1957), con un déficit acumulado en las aportaciones de  $-479.3 \text{ hm}^3$ .

**Tabla 12.** Períodos de sequía hidrológica en la presa La Fragua.

<b>Año Inicial</b>	<b>Año Final</b>	<b>Duración (No. años)</b>	<b>Severidad (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Severidad relativa</b>	<b>Tipo de sequía</b>
1933	1934	2	-71.8	0.15	Ligera
1936	1940	5	-320.2	0.67	Intensa
1942	1943	2	-93.8	0.20	Ligera
1945	1945	1	-21.5	0.04	Ligera
1947	1948	2	-92.3	0.19	Ligera
1950	1957	8	-479.3	1.00	Extraordinaria
1960	1960	1	-53.5	0.11	Ligera
1962	1963	2	-154.0	0.32	Intensa
1965	1970	6	-341.1	0.71	Intensa
1972	1974	3	-46.5	0.10	Ligera
1977	1977	1	-44.1	0.09	Ligera
1979	1979	1	-38.1	0.08	Ligera
1981	1985	5	-285.3	0.60	Intensa
1989	1989	1	-49.6	0.10	Ligera
1991	1991	1	-14.7	0.03	Ligera
1993	1998	6	-379.7	0.79	Intensa
2000	2003	4	-276.9	0.58	Intensa
2006	2007	2	-105.5	0.22	Ligera
2009	2009	1	-4.0	0.01	Ligera
2011	2011	1	-33.8	0.07	Ligera

Fuente: elaboración propia.

En este orden de ideas, en la Tabla 13 se presenta el análisis de los períodos de sequía hidrológica ocurridos históricamente en la presa Venustiano Carranza, que almacena los escurrimientos del río Salado. Se observa que han ocurrido al menos cinco períodos de sequía prolongada (con duración mayor o igual de cuatro años consecutivos); el período de sequía extraordinaria fue de 11 años (1947-1957), con un déficit acumulado en las aportaciones con relación a la media de -2,598.4 hm<sup>3</sup>.



**Tabla 13.** Períodos de sequía hidrológica en la presa Venustiano Carranza.

<b>Año Inicial</b>	<b>Año Final</b>	<b>Duración (No. años)</b>	<b>Severidad (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Severidad relativa</b>	<b>Tipo de sequía</b>
1934	1934	1	-231.7	0.09	Ligera
1936	1940	5	-1,269.5	0.49	Intensa
1942	1943	2	-568.0	0.22	Ligera
1945	1945	1	-208.6	0.08	Ligera
1947	1957	11	-2,598.4	1.00	Extraordinaria
1960	1960	1	-107.2	0.04	Ligera
1962	1969	8	-1,942.7	0.75	Intensa
1971	1971	1	-156.5	0.06	Ligera
1977	1977	1	-174.4	0.07	Ligera
1982	1986	4	-1,184.0	0.46	Intensa
1989	1990	2	-384.7	0.15	Ligera
1993	1998	6	-1,887.4	0.73	Intensa
2000	2002	3	-1,088.0	0.42	Intensa
2005	2006	2	-572.4	0.22	Ligera
2009	2009	1	-48.8	0.02	Ligera
2011	2011	1	-84.4	0.03	Ligera

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la Tabla 14 se presentan los períodos de sequía hidrológica ocurridos en la presa Falcón, que se abastece de los volúmenes escurridos en la parte baja del río Bravo. Se observan dos períodos de sequía prolongada con duración mayor de cuatro años consecutivos; el período de 10 años (1993-2002) es el que corresponde a la sequía extraordinaria, cuyo déficit acumulado en las aportaciones es de -3,765.1 hm<sup>3</sup>.

**Tabla 14.** Períodos de sequía hidrológica en la presa Falcón.

<b>Año Inicial</b>	<b>Año Final</b>	<b>Duración (No. años)</b>	<b>Severidad (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Severidad relativa</b>	<b>Tipo de sequía</b>
1969	1970	2	-647.4	0.17	Ligera
1972	1974	3	-250.5	0.07	Ligera
1977	1977	1	-21.0	0.01	Ligera

1980	1980	1	-24.8	0.01	Ligera
1982	1986	5	-1,180.0	0.31	Intensa
1989	1991	3	-765.8	0.20	Ligera
1993	2002	10	-3,765.1	1.00	Extraordinaria
2005	2007	3	-695.9	0.18	Ligera

Fuente: elaboración propia.

Como se ha observado, el análisis de las aportaciones de agua a las presas de almacenamiento ubicadas en los principales afluentes mexicanos del río Bravo, permite analizar y caracterizar de manera conveniente los períodos de sequía hidrológica registrados históricamente en la cuenca. La irregularidad de las aportaciones a las presas de almacenamiento es bastante pronunciada. En más del 60% del período analizado en cada presa, ocurren aportaciones inferiores a la media, registrándose años secos con déficit que va desde -3% hasta -97%, y períodos de sequía cuya duración varía desde uno hasta 13 años consecutivos. Dado que el valor de la media aritmética de las extracciones, ha sido el parámetro utilizado por la CONAGUA para la determinación de los volúmenes a concesionar de las presas de almacenamiento, es importante analizar y reconsiderar este criterio ya que, como muestran los resultados obtenidos, en la práctica es poco probable que ocurran las aportaciones medias. El elevado porcentaje de déficit hídrico en cada período de sequía, y la frecuencia con que éstos se presentan, son factores limitantes que requieren atención tanto de los administradores y operadores del agua como de los usuarios. Es importante que las directrices sobre el manejo del recurso se basen en las probabilidades reales de menor disponibilidad y no en las condiciones de aparente abundancia. Sólo de esa manera se estará en condiciones de reducir los impactos de las sequías y disminuir la vulnerabilidad de los usuarios ante este fenómeno.

#### 4 CONCLUSIONES

El análisis de las aportaciones de agua que ingresan a las presas de almacenamiento ubicadas en los principales afluentes mexicanos del río Bravo, permitió analizar y caracterizar de manera conveniente los períodos de sequía hidrológica registrados históricamente en la cuenca. Dichas aportaciones son bastante irregulares: en todas las presas analizadas el número de años secos –con aportaciones inferiores a la media histórica– es igual o superior al 60% del período analizado, registrándose años secos con déficit que va desde -3% hasta -97%, y períodos de sequía cuya duración varía desde uno hasta 13 años consecutivos. Se considera que, en la mayor parte de la cuenca, el período de sequía extraordinaria se extendió prácticamente a lo largo de 14 años (1992-2005), y fue el más severo y prolongado del cual se tiene registro.

#### REFERENCIAS

- Barakat, F. and Handoufe, A. 1998. Approche agroclimatique de la sécheresse agricole au Maroc. *Sécheresse* 9(3): 201-208.
- Bergaoui, M. and Alouini, A. 2001. Carctésisation de la sécheresse météorologique et hydrologique: cas du bassin Versant de Siliana en Tunisie. *Sécheresse* 12(4): 205-213.

- Bootsma, A. J., Boisvert, R. J. and Baier, W. 1996. La sécheresse et l'agriculture canadienne: une revue des moyens d'action. *Sécheresse* 7(4): 277-285.
- Bordi, I. and Sutera, A. 2007. Drought monitoring and forecasting at large scale. pp: 3-27. In: G. Rossi, T. Vega y B. Brunella (eds.). *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- CILA (Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y los Estados Unidos de América). 2005. *Cumbre binacional del río Bravo*. Documento Base. CILA. McAllen, Texas, USA.
- \_\_\_\_\_. 2008. *Informe Anual 2008*. CILA. Cd. Juárez, Chihuahua, México.
- \_\_\_\_\_. 2011. *Cumbre binacional de saneamiento fronterizo y calidad del agua*. Documento Base. CILA. San Antonio, Texas, USA.
- \_\_\_\_\_. 2012. *Cumbre binacional de recursos hídricos en la frontera*. Documento Base. CILA. Cd. Juárez, Chihuahua, México.
- COLPOS (Colegio de Postgraduados). 2008. *Estudio y balance sobre la disponibilidad y demanda de agua en el río Bravo*. Asociaciones de Usuarios del Distrito de Riego Bajo Río Bravo. Reynosa, Tamaulipas, México.
- Fournier, J. M. 2001. *L'eau dans les villes d'Amérique Latine – Inégalités sociales et concurrences des usages*. Géographie Sociale. Paris, Francia.
- Linares, M. 2004. La sequía en la cuenca del río Bravo: principios de política. *Gaceta Ecológica* 70: 57-66.
- Nalbantis, I. 2008. Evaluation of a hydrological drought index. *European Water* 23/24: 67-77.
- McKee, T. B., N. J. Doesken y J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. pp. 233-236. In: *8th Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society. Anaheim, California.
- Ortega-Gaucin D.; Mejía S. E.; Palacios V. E.; Rendón P. L. 2009. Modelo de optimización de recursos para un distrito de riego. *Terra Latinoamericana* 27(3): 219-226.
- Velasco, I., L. Ochoa y C. Gutiérrez. 2005. Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y Sociedad* XVII(34): 35-71.
- Wilhite, D. A. y M. H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International* 10(3):111-120.
- Wilhite, D. A. 1991. Drought planning: a process for State Government. *Water Resources Bulletin* 27(1): 29-38.
- \_\_\_\_\_. 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. pp. 3-18. In: D. Wilhite (ed.). *Drought: a global assessment*, Vol. I. Routledge, New York, USA.



# GESTION COMUNITARIA DE LOS RECURSOS HIDRICOS LOCALES EN CUENCAS RURALES ESTACIONALES DEL BAJO BALSAS (Michoacán)

Ana BURGOS

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM campus Morelia.

[aburgos@ciga.unam.mx](mailto:aburgos@ciga.unam.mx)

## RESUMEN

En amplias zonas rurales del interior de los Estados y Municipios de mayor marginación, la gestión de los recursos hídricos se realiza de manera precaria, sin medios técnicos, económicos u organizacionales para dar solución eficiente a las necesidades de abasto de agua de la población y de sus actividades productivas. Este es el caso de las cuencas rurales estacionales del trópico seco en Michoacán. Este trabajo discute resultados preliminares de un proyecto de largo plazo (2009 – 2013) realizado en un conjunto de unidades agrarias (17 ejidos y 1 comunidad indígena) del Sistema Hidrográfico Presa Infiernillo. Bajo Balsas, en la Región Infiernillo cuyo propósito fue impulsar la gestión comunitaria del agua bajo condiciones de información y financiamiento disponible, con miras a comprender los procesos que la determinan y sentar las bases para el manejo de cuencas. Los resultados del proyecto dieron lugar a un modelo conceptual denominado AGUA-RURAL, diseñado en lenguaje STELLA; que describe los condicionantes y restricciones para la gestión comunitaria de los recursos hídricos locales en áreas rurales, como un esquema generalista y progresivamente perfectible. Con base en el modelo, se analizó y detectó en el área de estudio cuatro modos de manejo comunitario de los recursos hídricos locales, diferenciados por condiciones físicas de las fuentes de agua, de la disponibilidad y acceso, pero también por los temas de interés y por las prioridades localmente decididas. El trabajo muestra que aun en zonas aparentemente homogéneas tal como el Bajo Balsas, coexisten modos de manejo comunitario de los recursos hídricos diferenciados que solamente pueden ser atendidos de manera eficiente bajo un enfoque de cuenca o de sistema hidrográfico.

**Palabras clave:** modelización, STELLA; seguridad hídrica, control territorial, Cuenca del Río Balsas

## 1 INTRODUCCIÓN

La gestión de los recursos hídricos en el medio rural mexicano adolece de vacíos de tipo legislativo, organizacional y de inversión. Esto es evidente en amplias zonas del interior de los Estados, particularmente en aquellos Municipios de mayor marginación donde la gestión de los recursos hídricos locales se realiza de manera precaria, sin infraestructura, o medios técnicos, económicos u organizacionales para dar solución eficiente a las necesidades de abasto de agua de la población y de sus actividades productivas. Las áreas rurales padecen realmente una fuerte orfandad en la atención de esta necesidad básica.

La Región de Infiernillo en Michoacán es un fiel reflejo de la situación antes descrita. El área sufre de estancamiento socio-económico, aislamiento de la población, falta de infraestructura y

tecnología, y un notable abandono histórico por parte de las dependencias gubernamentales, todo lo cual ha empujado a un rezago acentuado en la gestión de los recursos hídricos locales. La falta de agua para las necesidades básicas y productivas alimenta entonces círculos viciosos de estancamiento, que condenan a los poblados y microregiones de Infiernillo, al atraso perpetuo. Estas condiciones de precariedad hídrica, sin embargo, ofrecen una oportunidad para reconocer los esquemas de gestión de los recursos hídricos locales que emergen cuando las comunidades son dotadas de medios económicos e información técnica, e impulsadas en procesos participativos de toma de decisiones y ejecución de acciones directas para la gestión comunitaria de los recursos hídricos locales.

Este trabajo discute resultados preliminares de un proyecto de largo plazo (2009 – 2013) realizado en un conjunto de unidades agrarias (17 ejidos y 1 comunidad indígena) del Sistema Hidrográfico Presa Infiernillo. Bajo Balsas, en la Región Infiernillo (Michoacán), cuyo propósito fue impulsar la gestión comunitaria del agua, con miras a sentar las bases para el manejo de cuencas. Este trabajo se articuló bajo las siguientes preguntas rectoras:

- 1) ¿Qué condicionantes y restricciones para la gestión de los recursos hídricos locales enfrentan las comunidades rurales de cuencas estacionales en el Sistema Hidrográfico Presa Infiernillo–Bajo Balsas en Michoacán?,
- 2) ¿Qué problemas son priorizados y qué soluciones son implementadas cuando se crean condiciones de información oportuna y financiamiento disponible para la gestión comunitaria de los recursos hídricos locales?

## **2 MARCO METODOLÓGICO**

### **2.1 AREA DE ESTUDIO**

El área de estudio se ubicó en un sistema hidrográfico conformado por cuencas de pequeña y mediana extensión que drenan a la ribera norte del Vaso de la Presa Infiernillo – Bajo Balsas en Michoacán, abarcando un área de 1332 Km<sup>2</sup> (figura 1). Las cuencas tienen una posición predominante noreste-suroeste, y un marcado gradiente altitudinal con un rango desde los 1600 a 160 m.s.n.m, ofreciendo una heterogeneidad de formas de relieve y condiciones físicas diferenciadas. El clima regional es cálido-seco con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 650 mm y una temperatura media anual de 28 C. Las lluvias caen concentradas entre junio y octubre, siendo los restantes 7 a 8 meses de sequía estacional continua. Por ser cuencas de corta extensión, los escurrimientos responden a las lluvias regionales y locales (convectivas), presentando una respuesta hidrológica rápida. Con excepción del vaso artificial conformado por la construcción de la Presa Infiernillo en 1966, no existen cuerpos de agua permanentes. El uso de las aguas superficiales está vedado para uso agrícola, dado que la CFE ha retenido la concesión de dichas aguas, creando un verdadero dilema para el desarrollo de estas regiones. En términos poblacionales, el Sistema Hidrográfico Presa Infiernillo-Bajo Balsas muestra una población dispersa en pequeños poblados con muy baja densidad de población, con un total de 18,789 personas en 4008 viviendas (ITER, 2010).

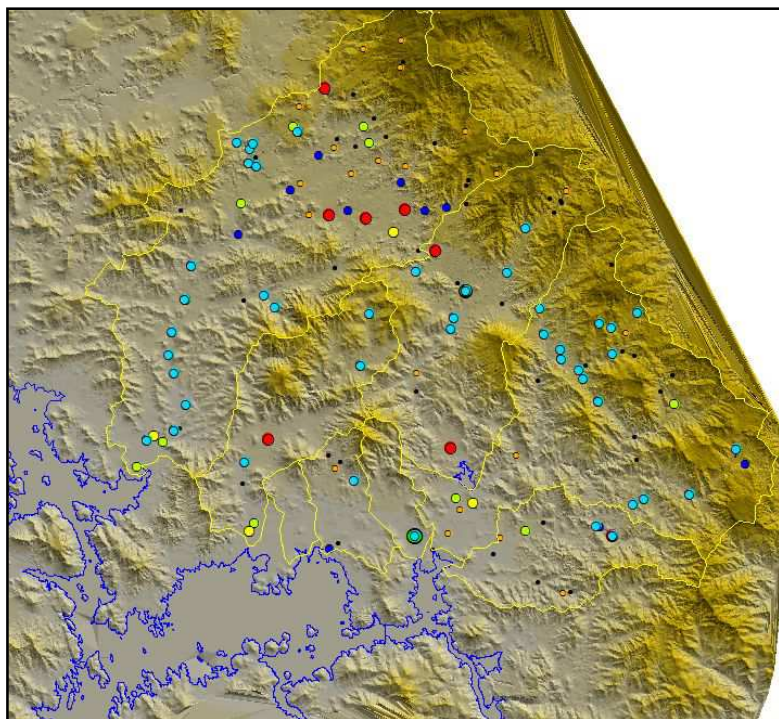
En esta área, dio inicio en el año 2009 un proyecto financiado por la Fundación Gonzalo Rio Arronte (FGRA), y ejecutado por la colaboración entre un centro público de investigación (CIGA-UNAM), y una organización de la sociedad civil (Grupo Balsas A.C.). El objetivo del proyecto fue

promover el manejo comunitario de los recursos hídricos, y sentar las bases para el manejo de las cuencas, bajo esquemas basados en el manejo adaptativo. El proyecto operó sobre 18 ejidos (unidades agrarias), cubriendo un total de 45 localidades, de un total de 139 que se ubican dentro de las cuencas de estudio (figura 2), con cobertura a 6123 habitantes y 1318 viviendas.

Para entender la gestión de los recursos hídricos locales, se establecieron cuatro niveles organizacionales de análisis. Por un lado, se consideró a la “*unidad agraria*” (ejido o comunidad indígena) como la unidad social legítima en el medio rural mexicano para establecer la toma de decisiones colectiva sobre el territorio habitado, incluyendo áreas de uso común, áreas de uso grupal, parcelas familiares, y asentamientos humanos (uso público). El segundo nivel fue la “*localidad*”, en tanto unidad de habitación y vivienda, donde los pobladores



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio en el sistema hidrográfico Presa Infiernillo Bajo Balsas, Municipios de La Huacana y Churumuco (Michoacán).



**Figura 2.** Distribución de los asentamientos humanos dentro del área. Los puntos celestes son las localidades donde se ejecuto este proyecto.

deben atender de manera unida y en colaboración la gestión del recurso hídrico local mediante prácticas diversas. El tercer nivel organizacional considerado fue la cuenca, y el cuarto el sistema hidrográfico. Los

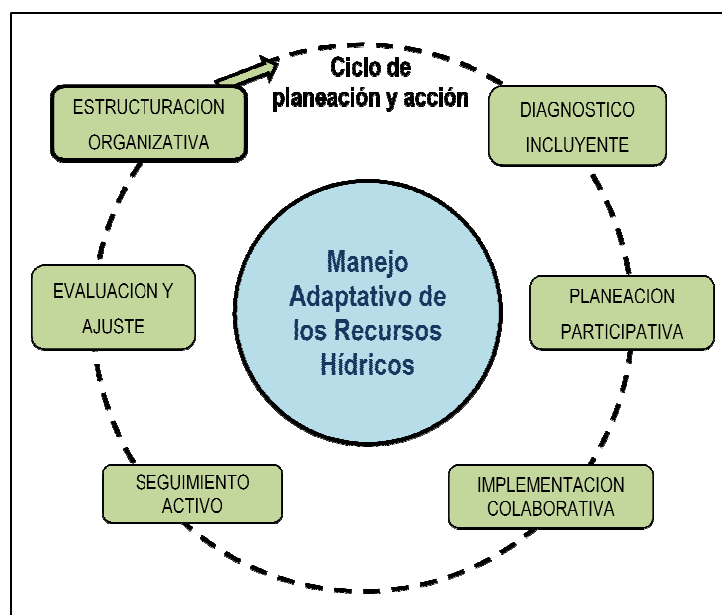
niveles organizacionales fueron la base para agregar y desagregar los datos, y reconocer los esquemas dominantes de gestión local de los recursos hídricos abarcando la heterogeneidad de situaciones y condiciones coexistentes en el área de estudio. En este trabajo, se presentan resultados preliminares a nivel de unidad agraria, y se discute su extensión a los otros niveles, especialmente los de cuenca y sistema hidrográfico.

### **2.2.1 Estrategia de intervención: manejo adaptativo de los recursos hídricos a nivel local**

La estrategia de intervención para promover la gestión comunitaria siguió los pasos del manejo adaptativo de los recursos hídricos (MARH; van der Bruggen y van Raak 2007, Mysiak 2010), adaptado para su aplicación a niveles locales. En términos generales, el ciclo MARH incluyó seis etapas consecutivas completadas en un ciclo anual (figura 3; Burgos, 2011), las cuales fueron conducidas entre los años 2009 y 2013 (5 años consecutivos) en cada unidad agraria. La estrategia de intervención fue llevada por un Grupo Externo Facilitador (Grupo Balsas A.C.) en colaboración con un grupo académico (CIGA-UNAM), y se aplicó mediante actividades estipuladas en protocolos formalmente establecidos, los cuales fueron evaluados y mejorados luego de cada ciclo. Siguiendo el MARH, cada situación problemática planteada en las reuniones comunitarias y seleccionada por los actores locales para su atención (diagnóstico incluyente) fue reconocida con



recorridos de campo junto con los interesados, con el fin de recabar datos complementario como origen del problema, condición, usuarios y sectores beneficiados con la obra, así como otros atributos como ubicación geográfica, y condiciones físicas del sitio. Con base en los problemas detectados, la comunidad estableció a través de sus órganos de decisión (asambleas ejidales o comunales) un plan de trabajo de alcance anual (planeación participativa), bajo un presupuesto definido, en el cual se acordaron de manera colectiva las practicas (obras o acciones) a realizar en cada año. Cada intervención técnica decidida en la comunidad fue ejecutada de manera auto-gestiva pero bajo asesoría y acompañamiento del Grupo Externo, y en ocasiones de técnicos especializados (implementación



**Figura 3.** Ciclo de manejo adaptativo de los recursos hídricos, aplicado a nivel local. (Burgos 2011).

colaborativa). Las obras concluidas recibieron seguimiento interno y externo (seguimiento activo) y, el ciclo anual concluyo en una fase final de evaluación y ajuste (figura 3), en la cual el plan de trabajo inicialmente planteado fue revisado, así como la forma de trabajo, organización, y demás temas internos. El financiamiento para la realización de prácticas de manejo de los recursos hídricos fue proporcionado por la Fundación Gonzalo Rio Arronte I.A.P. a la cual se agregaron gestiones realizadas por el grupo externo para aportaciones concurrentes de otros programas gubernamentales como COINBIO-Michoacán, PROCODES de la Reserva de la Biosfera Zicuirán Infiernillo, fondo Sierra Costa-Bajo Balsas del Gob. del Edo de Michoacán CPLADE 2011). El monto final de inversión en prácticas para la atención de necesidades de manejo de los recursos hídrico, superó los 8 millones de pesos al cabo de cinco años.

## 2.2.2 Generación y análisis de datos

Los datos cuantitativos y cualitativos que surgieron de la aplicación del ciclo de MARH fueron analizados y sintetizados siguiendo la lógica del pensamiento sistémico (*systems thinking*). Ello implicó iniciar con la construcción de un modelo conceptual que describiera la gestión comunitaria de los recursos hídricos locales en áreas rurales que permitiera un entendimiento general del comportamiento del sistema de estudio en su conjunto. Para la construcción del modelo se utilizó el lenguaje gráfico orientado a objetos del software STELLA<sup>TM</sup>, diseñado especialmente para el estudio de sistemas dinámicos (ver detalles en Costanza et al. 1998; Costanza y Gottlieb 1998). El modelo se estructuró considerando los almacenes y flujos de agua en una localidad, partiendo de las fuentes de agua potenciales hasta el flujo de agua devuelto al ambiente. Siguiendo las premisas de la modelización de sistemas, el modelo buscó ser suficientemente genérico y realista, de modo de representar todas las condiciones y situaciones posibles existentes en la experiencia de campo del área de estudio. El potencial de la herramienta de STELLA radica en que la estructura del modelo es la base para establecer simulaciones de cambio temporal en cada uno de los almacenes del modelo. Dada las condiciones de fuerte estacionalidad en la región, y de aumento de la demanda de agua en función del momento del año, la herramienta ofrece posibilidades para simular situaciones bajo diferentes escenarios de apertura o limitación de fuentes de agua, construcción de acuerdos, cooperación, conflicto y niveles de consumo de agua.

Por otra parte, la gestión comunitaria de los recursos hídricos en áreas rurales fue asociada a seis temas de atención referidos a los problemas que deben ser resueltos para dotar de agua a las viviendas o unidades productivas (potreros, parcelas), y sostenerla a largo plazo, tal como se muestra en el cuadro 1. Cada tema de atención fue ligado a un conjunto de prácticas, obras y acciones, que permiten resolver cada problema contando con un repertorio con 66 opciones tecnológicas (prácticas). Considerando esta clasificación (cuadro 1), cada práctica de manejo del agua decidida e implementada por las 18 unidades agrarias a lo largo de 5 años fue etiquetada y capturada en una base de datos detallada, indicando atributos como el problema de origen, la solución técnica, el número de usuarios beneficiados, el tipo de iniciativa (colectiva extendida, colectiva reducida, individual concertada o aislada), el costo de inversión, su ubicación geográfica, entre muchos otros. Esta base de datos denominada “Inter-Tec” (Intervenciones Técnicas), proveyó los datos brutos para reconocer los problemas priorizados y las soluciones implementadas mediante la gestión comunitaria en cada unidad agraria, operando en todas ellas las condiciones de información técnica y de disponibilidad presupuestal. Los datos fueron analizados con técnicas estadísticas para identificar grupos de casos de unidades agrarias, que orientaron la gestión hacia la atención de problemas similares. Para ello se realizaron análisis de grupos (cluster) y de medias (K-means cluster analysis), así como análisis de varianza no paramétricos para identificar diferencias y similitudes entre diferentes esquemas de gestión y priorización de problemas y soluciones aplicadas.

**Cuadro 1.** Clasificación de intervenciones técnicas (prácticas) para el manejo del agua, clasificadas de acuerdo a los temas de atención para asegurar la dotación de agua a poblaciones rurales.

Tipo	Tema de atención (problema)	Intervenciones técnicas (prácticas de manejo)
A	Aprovechamiento y protección de fuentes de agua	Protección de manantiales, construcción de cajas de captación, construcción y mejoramiento de norias, estudios geo-hidrológicos, perforaciones de pozos, cosecha domestica de agua de lluvia , monitoreo de calidad del agua

B	Conducción, almacenamiento y distribución de agua	Construcción o reparación de depósitos de agua, construcción de cisternas, tendido de líneas de conducción de agua, correcciones y ampliación de redes de distribución, equipamiento para bombeo, aplicación y uso de medidores de gasto domiciliario
C	Uso del agua para producción ganadera	Construcción y desazolve de ollas y bordos, construcción de abrevaderos mejorados, conducción de agua hacia áreas de pastoreo, revestimiento de ollas con geomembranas y plásticos, dotación de tinacos para el traslado de agua,
D	Uso del agua para producción vegetal	Sistemas de riego de diverso tipo, medidas de protección de humedad del suelo, diseños agroforestales, puesta en operación de viveros de sp. nativas, entre otras
E	Protección y mejora de cubierta vegetal y suelo para control de erosión	Protección de áreas ribereñas, reforestación con diversas técnicas, construcción de estufas ahorradoras de leña, entre otras, control de avenidas de agua
F	Uso eficiente del agua en las viviendas y centros comunitarios	Pilas domesticas mejoradas, baños secos, filtros purificadores, biofiltros, tecnologías de bombeo domestico eficientes, entre otros

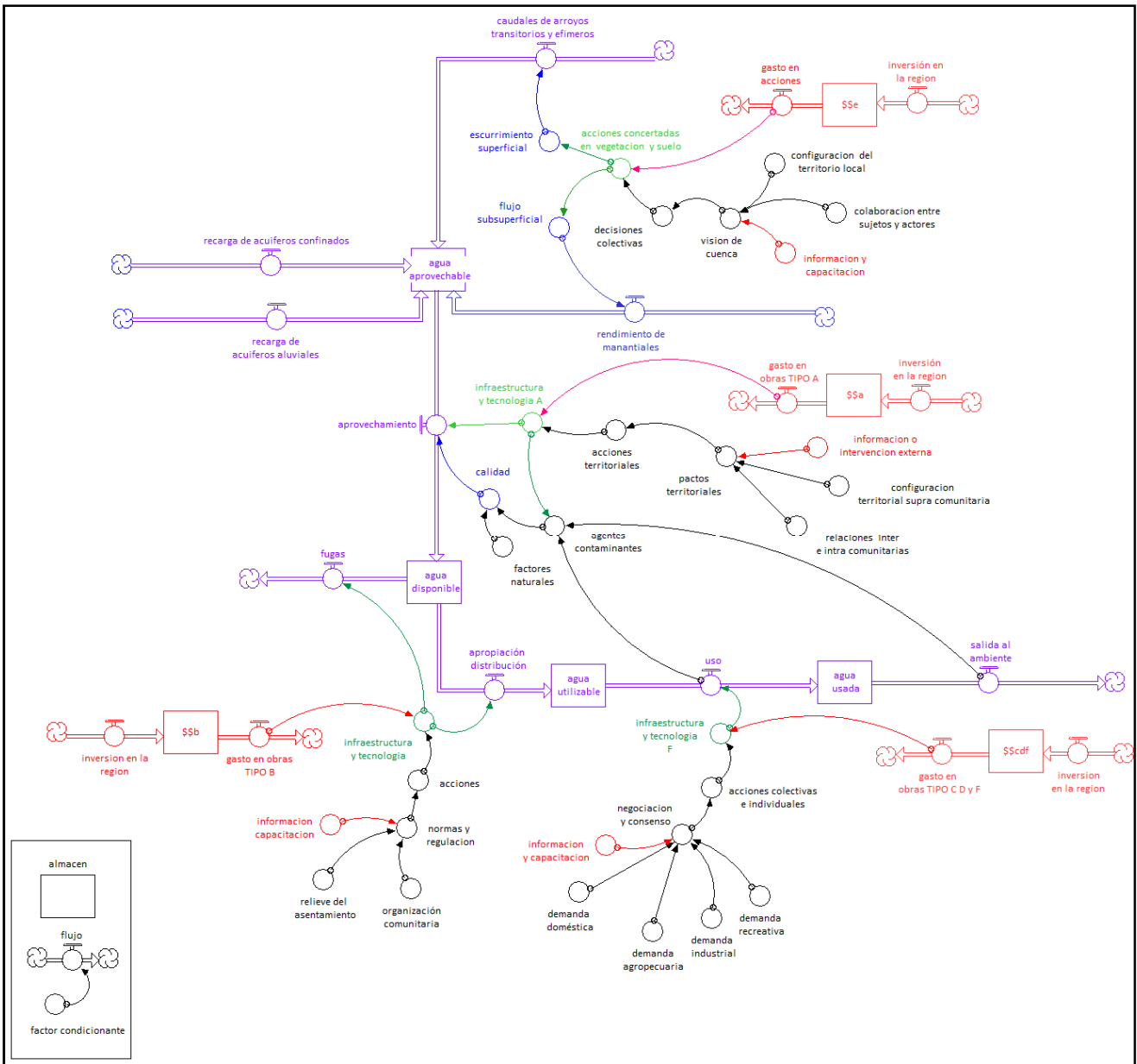
### 3 RESULTADOS

La aplicación del ciclo de MARH a nivel local-comunitario en 18 unidades agrarias durante cinco años condujo a la ejecución de 386 prácticas para el manejo del agua, implementadas en 45 localidades, con decisiones tomadas en asambleas comunitarias mediante procedimientos incluyentes y participativos. La información cualitativa y cuantitativa de dichos procesos dio lugar al modelo conceptual denominado aquí “Gestión Comunitaria de los Recursos Hídricos Locales en Áreas Rurales del Trópico Seco”, o por su nombre corto AGUA-RURAL, cuya primera versión se presenta en este trabajo (figura 4). El modelo basado en STELLA™ fue estructurado a partir cuatro almacenes principales de agua, que son regulados a través del manejo que las propias comunidades logren hacer de los flujos de entrada y salida a cada almacén. El modelo incluye también los condicionantes (parámetros) básicos que inciden (posibilitan o reducen los flujos entre almacenes), representados por los círculos, o convertidores en el lenguaje STELLA™.

#### 3.1. El modelo AGUA-RURAL

El modelo fue estructurado mediante cuatro almacenes correspondientes a i) agua existente en las fuentes locales, ii) agua disponible, iii) agua utilizable, iv) agua usada (figura 4).

El stock “*agua aprovechable*” refiere a las fuentes de agua locales que pudieran hacerse disponibles para la comunidad, en caso de contar con infraestructura adecuada. En el sistema hidrográfico del Bajo Balsas, este almacén puede ser alimentado por fuentes provenientes de manantiales permanentes, de agua subterránea en acuíferos aluviales, el agua subterránea en acuíferos confinados, y de las corrientes superficiales de arroyos



**Figura 4.** Modelo AGUA\_RURAL (Versión 1) diseñado en lenguaje STELLA™, para reconocer las restricciones y factores que determinan el manejo de los recursos hídricos locales en áreas rurales del Bajo Balsas.

transitorios y efímeros. La presencia, rendimientos e importancia relativa de estos cuatro tipos de fuentes de agua en cada unidad agraria y localidades varían al interior del área de estudio. Por ejemplo, en las localidades de las partes altas de las cuencas (> 700 msnm) la principal fuente de agua corresponde con manantiales permanentes. Estos manantiales están ubicados en pie de laderas y su origen está asociado a la geología volcánica por un lado, y a escurrimientos sub-superficiales de ladera que afloran por fracturas de la roca y son alimentados por las lluvias estacionales (origen telúrico), por el otro. Los rendimientos de agua son mayores y más estables en el caso de los primeros que de los segundos. En las localidades ubicadas en zonas medias de las cuencas

(transición), entre 300 y 700 msnm, las fuentes originadas en manantiales permanentes son mucho más escasas y de bajos rendimientos. En las localidades de las partes más bajas (zona de emisión, < 300 m.s.n.m.) los manantiales son inexistentes. Por ellos en estas dos últimas, las principales fuentes se ubican en los acuíferos aluviales de los arroyos transitorios de mayor orden (4 y 5), donde se resguarda el agua aprovechable. Sin embargo, en el Bajo Balsas, estos acuíferos aluviales son de escasa profundidad pues existe un estrato de roca fracturada y compacta sobre el cual los sedimentos se han acumulado, con horizontes no mayores a los 8 m de profundidad. La larga estación de secas (7 meses), conduce a que estos almacenes de agua declinen fuertemente a partir del mes de febrero, disminuyendo sus volúmenes drásticamente hasta el inicio de lluvias en el mes de julio. Por su parte, las fuentes generadas desde acuíferos confinados son escasas, debido a las características poco favorables para formar este tipo de almacenes del sustrato geológico de la región. La última fuente de agua potencial está dada por los escurrimientos transitorios que ocurren principalmente en julio y septiembre, los cuales pueden ser retenidos por presas de mampostería. Esta alternativa es poco utilizada, debido al material grueso de los suelos, que favorece la pérdida por filtraciones a altas velocidades. Ello, aunado a las altas temperaturas y fuerte evaporación directa de estos pequeños cuerpos, conducen a una baja eficiencia de estas fuentes, y a su aprovechamiento solo en casos extremos. La manera de incidir sobre las fuentes de agua es mediante prácticas relacionadas al manejo de los escurrimientos, con acciones que permitan aumentar la infiltración por sobre los escurrimientos rápidos y acelerados, permitiendo la recarga de almacenes en suelo y aluviones. La efectividad de estas acciones requiere una escala de aplicación considerable, es decir a nivel de subcuenca por lo menos, basadas en acciones concertadas sobre vegetación y suelo, las cuales requieren de decisiones colectivas motivadas por una visión de cuenca extendida entre los sujetos y actores locales territoriales y extra territoriales de una comunidad. Esto está representado en el conjunto de convertidores (círculos) del ángulo superior derecho del modelo, los cuales son parametrizables. El ingreso de información y capacitación externa mediante intervenciones bien diseñadas tiende a mejorar la visión de cuencas requerida para incidir en estos factores.

El siguiente almacén considerado en el modelo (figura 4), correspondió con el “*agua disponible*”. El flujo desde el almacén de “*agua existente*” al de “*agua disponible*” está regulado por la llave “*aprovechamiento*”. Esta llave puede aumentar el flujo en la medida que existan medios adecuados (infraestructura y tecnología) para la extracción o captación de agua, como norias, pozos profundos, cajas de captación, presas de mampostería y otras obras ingenieriles principalmente que posibilitan acceder al agua en el momento en que es requerida. Este aprovechamiento también está condicionado por la calidad del agua de las fuentes, la cual puede ser alterada por agentes contaminantes naturales o antrópicos. En las áreas rurales como el Bajo Balsas, las diversas fuentes de agua potenciales se ubican distribuidas en espacios específicos con algún tipo de apropiación territorial, ya sea individual, grupal o colectiva, es decir en territorios de tipo tangible, funcional o simbólico. Esto condiciona la creación de infraestructura para el aprovechamiento colectivo de estas fuentes a las acciones territoriales derivadas de pactos territoriales que permitan utilizarlas sin la generación de conflictos. En tal sentido, el modelo ubica como condicionantes de la infraestructura a las acciones territoriales, además de la inversión necesaria. Los pactos territoriales están basados en la configuración del territorio local, los tipos de apropiación histórica y actual, y relaciones intra e inter comunitarias. Similarmente, estos pueden ser facilitados por información y capacitación provista por agentes externos..

El tercer almacén del modelo es el “*agua utilizable*” la cual refiere al agua que ya es accesible por las familias o personas en los sitios donde esta es requerida, tales como viviendas, potreros o parcelas. El flujo entre el almacén “agua disponible” y “agua utilizable” está controlado por las prácticas de apropiación y distribución de agua. Estas requieren infraestructura y tecnología, tanto como acciones basadas en normas regulatorias de tipo interno o externo. La infraestructura refiere a la existencia de equipos de bombeo para la extracción de agua, líneas de conducción, depósitos y redes de distribución, por ejemplo. Las normas y regulaciones responden a la organización comunitaria por un lado, pero también al tipo de relieve del asentamiento que condiciona fuertemente el tipo de distribución entre usuarios, y las relaciones entre esos por la apropiación del recurso.

Finalmente, el cuarto almacén es el “*agua usada*”, el cual está regulado por la llave de usos, que depende en última instancia de las diferentes demandas (domestica, agrícola, pecuaria, industrial, recreativa) que se integran en el condicionante de negociación y consenso para incidir en acciones colectivas e individuales que determinan el uso. Aquí, la infraestructura y tecnología que aumenta la demanda de diferente tipo tiene que ver con tecnologías para el uso del agua domestica (pilas,, baños, control de aguas grises), para el uso ganadero (abrevaderos), y para el uso en producción vegetal (riego, producción hortícola o en viveros, por ejemplo).

El modelo, explicado aquí muy sucintamente, permite representar de manera general pero realista un conjunto de situaciones observadas en la gestión comunitaria de los recursos hídricos locales en el medio rural. La ampliación de los almacenés y de los flujos, depende básicamente de la apertura de las llaves entre estos, que están a su vez condicionadas por factores internos y externos. El modelo puede fácilmente representar condiciones variables a lo largo del año, por ejemplo entre la estación de lluvias y los meses de secas. La inversión para infraestructura y tecnología es condicionante de todas las llaves, pero además de ello un conjunto de acciones locales y procesos comunitarios actúan de manera conjunta a la inversión, que pueden aumentar o restringir los flujos y el paso del agua. El modelo puede ser cuantificado en términos de almacenés y flujos, y de los parámetros (constantes), que controlan dichos flujos, permitiendo simular diferentes condiciones y aprender del funcionamiento del sistema en su conjunto. En términos de los temas de atención (problemas), que componen el manejo de los recursos hídricos locales (cuadro 1), estos temas pueden ubicarse fácilmente en los diferentes controladores de flujos. Por ejemplo las practicas de tipo A, están relacionadas con el flujo de aprovechamiento. Las de tipo B, con el flujo de apropiación y distribución, mientras que las de tipo C, D y F regulan (aumentan o restringen) el flujo denominado uso. Las practicas de tipo E son las relacionadas con los flujos escurrimiento/infiltración, que determinan de manera incierta o con menor visibilidad para los actores locales, el aumento de fuentes de agua. El modelo aplicado a las diferentes condiciones empíricas, es decir con parámetros que indiquen las particularidades de cada caso, permite ubicar de manera fácil y explícita donde se ubican las restricciones para movilizar el agua desde las fuentes y alcanzar su uso, con el regreso al ambiente sin que este afecte la calidad de las fuentes de agua.

### **3.2. Modos de manejo comunitario del agua: prioridades y soluciones locales**

Las 386 obras y acciones decididas y ejecutadas por cada unidad agraria en el periodo evaluado, fueron ubicadas en el marco conceptual provisto por el modelo y clasificadas de acuerdo al tema de

interés o problema que atienden (cuadro 1). Así, se obtuvo la matriz de datos mostrada en el cuadro 2, que revela las prioridades y soluciones locales establecidas bajo condiciones de disponibilidad de financiamiento para la creación de infraestructura y tecnología. El análisis de clusters (K-means cluster analysis) sobre valores estandarizados del cuadro 2 (# de prácticas por tipo /total de prácticas por unidad agraria) detectó cuatro grupos de casos, que mostraron particularidades y consistencias en las decisiones comunitarias tomadas y en las acciones emprendidas (figura 5). Cada grupo (cluster) reveló un modo de manejo o patrón, esto es, un arreglo repetido de temas de interés o problemas a los cuales la gestión comunitaria de los recursos hídricos dio prioridad y atendió bajo las condiciones creadas por este proyecto. Los cuatro grupos se describen a continuación.

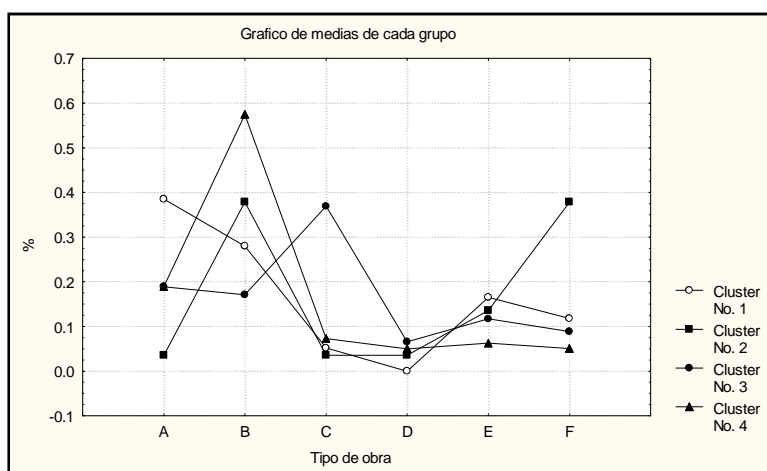
**Cuadro 2.** Cantidad de prácticas para el manejo del agua implementadas por cada ejido de acuerdo a la tipología de temas de atención (problemas) para lograr el abasto de agua para usos doméstico y productivo en las comunidades rurales.

Ejido	Acrónimo	# localidades	Altitud media (m.s.n.m.)	Tipo de obra u acción*						Total
				A	B	C	D	E	F	
El Salitre	ES	10	905	10	26	1	0	2	4	43
El Baral	EB	1	760	2	5	6	0	3	3	19
Melchor Ocampo	MO	2	740	5	3	1	0	1	3	13
El Platanar	EP	1	700	5	3	0	0	3	2	13
Poturo	PO	3	700	10	5	14	1	5	3	38
David C. Manjarrez	DCM	3	603	9	7	3	0	2	2	23
Los Copales	LC	2	560	3	5	10	1	4	1	24
Cayaco	CY	4	510	8	10	14	1	1	6	40
Juntas de Poturo	JP	1	460	0	2	0	0	1	2	5
Santa Rosa	SR	1	440	1	5	1	1	1	5	14
El Timbiriche	ET	4	362	8	3	0	0	4	0	15
El Capirito	EC	1	320	8	1	11	3	4	3	30
Algodón de Oropeo	AO	3	263	4	6	8	4	0	1	23
Cumuato	CM	2	230	4	8	3	0	1	0	16
Llano de Ojo de Agua	LLO	0	230	5	1	9	2	4	1	22
Guadalupe Oropeo	GO	4	208	7	15	0	0	1	0	23
El Ahujote	EA	2	205	1	8	2	0	1	1	13
Sinagua	SN	1	180	1	6	0	3	1	1	12
TOTAL		45		89	121	83	16	39	38	386

\* tipología mostrada en el Cuadro 1.

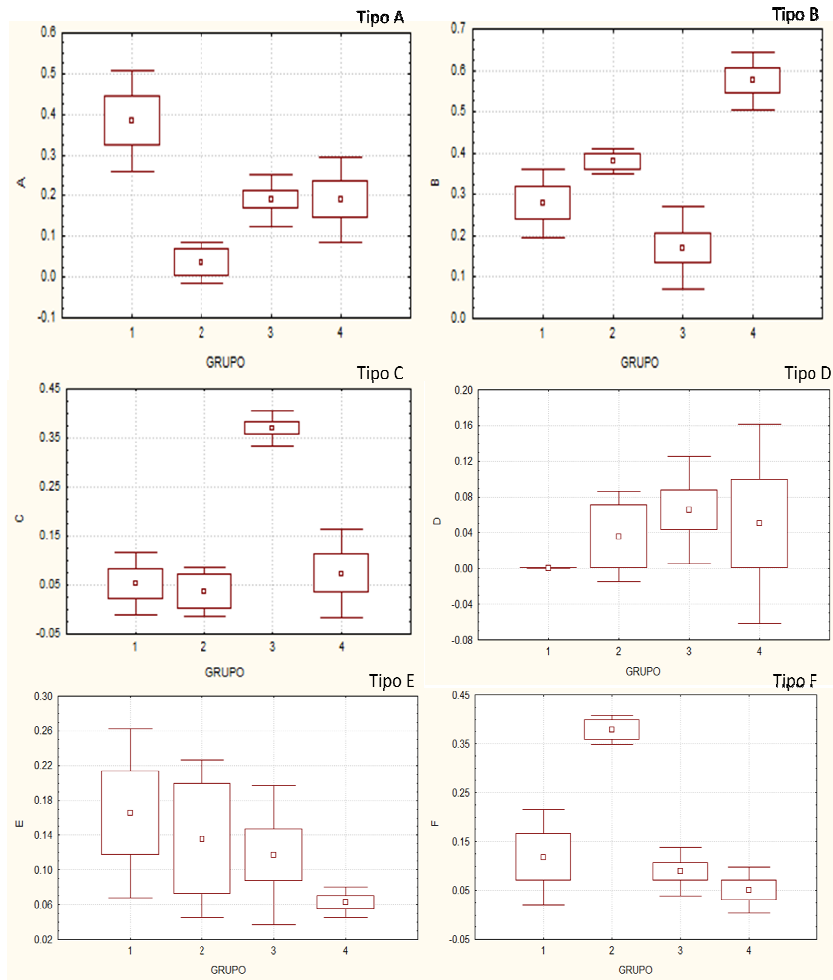
*Grupo 1 – Modo de manejo dirigido el aumento del aprovechamiento de fuentes de agua (manejo tipo A)*

Un primer grupo integrado por cuatro casos (unidades agrarias ET, MO, DCM, EP; cuadro 2) mostro una gestión comunitaria fuertemente inclinada a la atención de problemas Tipo A por sobre los otros temas de interés en el manejo comunitario del agua (figura 5, círculos abiertos). Las prácticas implementadas en el periodo evaluado, las cuales fueron decididas de manera libre e informada por cada asamblea ejidal, correspondieron con la apertura y protección de norias, la construcción de cajas de captación en manantiales, o la reparación y mantenimiento de presas de mampostería (compuertas, desazolve) que retienen aguas de escurrimiento. Estas intervenciones permitieron aumentar el flujo denominado “aprovechamiento”, en el modelo AGUA-RURAL. En estos casos, las acciones fueron posibles previa creación de pactos territoriales. Tal como lo representa el modelo, en varios de estos casos, se debieron facilitar negociaciones entre sujetos o entre grupos, e incluso entre ejidos, lo cual frecuentemente requirió la presencia de un facilitador externo, llegando incluso a requerirse la anuencia del ayuntamiento. Los pactos territoriales para el aprovechamiento de fuentes de agua parecen un factor de considerable importancia en esta región, en especial cuando se trata de fuentes de agua provenientes de x



**Figura 5.** Análisis basado en medias para ubicar grupos de casos con similitudes en sus datos.





**Figura 6.** Gráfica del análisis de medias de los grupos de casos, con similitudes en sus esquemas de manejo de los recursos hídricos locales.

transitorios y efímeros. La presencia, rendimientos e importancia relativa de estos cuatro tipos de fuentes de agua en cada unidad agraria y localidades varían al interior del área de estudio.

*Grupo 2 – Modo de manejo para superar restricciones en la conducción, almacenamiento y distribución de agua a nivel localidad y de familia*

Un segundo grupo de casos integrado por dos unidades agrarias (JP y SR, cuadro 2 y figura 5 cuadros negros), mostró un patrón de atención en las practicas de tipo B y F (figura 5 y figura 6 b y f). Efectivamente estas comunidades reciben agua de manantiales muy copiosos, aunque este suministro es intermitente en la época seca. Su inquietud se ubicó en aumentar el agua utilizable, mediante prácticas que mejoran la apropiación del agua mediante almacenamiento tanto comunitario (depósitos centrales), como familiar (pilas domesticas).

### *Grupo 3 – Modo de manejo para atender restricciones en el uso ganadero del agua*

Un tercer grupo de siete casos (EB, AO, CY, EC, PO, LLO y LC, cuadro 2, y figura 5 círculos negros) mostró una gestión comunitaria enfocada en mejorar el agua usada en la cría ganadera, es decir a crear infraestructura que permitiera movilizar agua utilizable a agua usada mediante una mayor infraestructura para el acceso del usuario y la satisfacción de la demanda en la cría bovina. En estos casos, las comunidades se ubican en poblados que, si bien precarios y deficientes, cuentan con infraestructura básica para la apropiación comunitaria y distribución de agua hacia las viviendas, por lo que orientaron sus decisiones a mejorar las posibilidades de uso eficiente. En este modo de gestión, las practicas tipo C fueron las prioritariamente atendidas en el periodo de aplicación del proyecto. Este modo de manejo mostro también a comunidades fuertemente dependientes de la cría de ganado para su subsistencia, lo cual es visible en el análisis de medias de los grupos mostrado en la figura 6 c.

### *Grupo 4 – Modo de manejo para atender restricción en la apropiación y distribución de agua a nivel localidad*

Finalmente, un cuarto grupo con 5 casos (CM, GO, ES, EA, SI; cuadro 2 y figura 5 triángulos negros) orientó su modo de manejo a superar restricciones en la apropiación y distribución de agua a nivel de localidad. En estos casos, el tema de interés impulso y motivo a una mayor organización comunitaria y al establecimiento de normas de regulación, aun en casos donde esta era sumamente deficiente, y mostro ser un requisito para lograr mejorar el flujo desde el agua disponible al agua utilizable, independientemente de la infraestructura. El requerimiento múltiple de inversión y normas reflejadas en acciones fue en este modo evidente al punto de que ejidos con el dinero disponible para su aplicación, no lograron establecer acuerdos, dejando pasar la oportunidad de mejoras por falta de integración comunitaria. El mayor interés en las prácticas tipo B, se reflejo en el análisis de medias de la figura 6 b, el cual mostró una presencia significativamente superior a los grupos restantes.

El análisis precedente mostro que los temas de interés varían espacialmente en una misma región, y pueden variar temporalmente en una misma unidad agraria. Si reconocemos la sectorización gubernamental existente para la atención de los diferentes temas de interés, por ejemplo, para el tema Tipo A y B: CONAGUA; para el tipo C y D: SAGARPA; para el Tipo E: SEMARNAT, CONAFOR, CONANP; para el Tipo F: SEDESOL, es evidente que una unidad agraria no puede gestionar en todos los programas y oficinas, apoyo y fondos para atender de manera integral la gestión del agua, para resolver todos los problemas que en ella intervienen, revelados en el modelo AGUA-RURAL. Por ello, se requiere un enfoque de cuencas o de sistema hidrográfico para concertar a todos los actores en torno a la mesa de la diversidad existente en una región, y hacer más eficiente el ejercicio de los fondos públicos y la operación de estas dependencias.

### 3 DISCUSION Y CONCLUSIONES

EL modelo AGUA-RURAL ofrecido en este trabajo es una herramienta de síntesis que aun debe ser pulida y mejorada, pero que muestra un gran potencial para describir y explicar con un lenguaje sistémico los modos de manejo comunitario del agua en una diversidad de situaciones usualmente observadas en el medio rural mexicano. Por otra parte, los datos empíricos mostraron que en el Sistema Hidrográfico Presa Infiernillo - Bajo Balsas coexisten restricciones diferentes y soluciones locales particulares que se integran en modos de manejo que las propias comunidades orientan, basadas en el entendimiento local del problema, en la historia de sus relaciones territoriales, y también en nueva información aportada para atender cada tema de interés. La sistematización de estas experiencias a través del modelo presentado es importante, en tanto ofrece un entendimiento no anecdótico de los modos comunitarios de gestión, y permite entender y diseñar estrategias de intervención mejor ajustadas a las características y necesidades de un área, ya sea desde las instituciones públicas o desde las organizaciones de la sociedad civil.

En cuanto a las preguntas rectoras de este trabajo, el modelo AGUA-RURAL es un primer paso para lograr reconocer los condicionantes y restricciones que intervienen para la gestión comunitaria de los recursos hídricos locales en las cuencas estacionales del Sistema Hidrográfico Presa Infiernillo–Bajo Balsas en Michoacán. Es también una herramienta generalista aplicable a otras condiciones y regiones, que permite comparar procesos y modos locales de manejo del agua. Su parametrización para casos particulares es una tarea pendiente, que a su vez mostrará deficiencias del modelo y motivará su mejoramiento, proceso común y progresivo en la construcción de este tipo de herramientas heurísticas. Asimismo, los resultados indicaron diferencias en los problemas priorizados y las soluciones implementadas en los diferentes grupos de unidades agrarias en el área de estudio, y mostro que la problemática hídrica es entendida y vivida de manera diferencial entre comunidades aun dentro de un área “aparentemente homogénea”. Sin embargo, la diversidad puede ser simplificada de manera razonable mediante la identificación de patrones, o respuestas similares. El trabajo mostró también que las comunidades de esta región, dan cuenta de sus propios problemas y soluciones, cuando se crean condiciones de información oportuna y financiamiento disponible, mejorando sustancialmente el flujo de agua desde sus fuentes hasta su uso. Esto explica el fracaso de los esquemas homogeneizadores y verticales como los promovidos por los programas de gobierno, que aplican “soluciones” idénticas en sitios diferentes, invadiendo y violentando los tiempos y ritmos locales en la definición de los problemas y la decisión sobre las soluciones, resultando en la atención equivocada de temas que no presentan interés, o no son prioritarios, para las comunidades protagonistas del problema.

El mejor entendimiento de las restricciones, condicionantes y procesos de gestión comunitaria de los recursos hídricos locales en áreas rurales sigue siendo una necesidad en México para estar en mejores condiciones de diseñar nuevos esquemas institucionales y participativos para la atención de la problemática hídrica en amplias zonas del campo mexicano.

## **AGRADECIMIENTOS**

La autora desea agradecer extensivamente al Grupo Balsas para Estudio y Manejo de Ecosistemas, Asociación Civil, por el trabajo compartido para la realización de este proyecto. Asimismo, se extiende un agradecimiento especial a los dieciocho ejidos, autoridades comunitarias y habitantes locales que participaron entre el año 2009 y 2013 en las actividades y acciones impulsadas para implementar soluciones locales para el acceso al agua. Este proyecto fue posible gracias al financiamiento de la Fundación Gonzalo Rio Arronte (FGRA) durante los periodos 2009 – 2010 (Proyecto A – 85), y 2011-2013 (Proyecto A-131), cuyos apoyos hicieron posible mejorar sustancialmente el manejo y gestión de los recursos hídricos y las capacidades autogestivas de las comunidades del Bajo Balsas.

## **REFERENCIAS**

- Burgos, A. 2011. Aplicación del enfoque de manejo adaptativo de los recursos hídricos (AWRM) a nivel local-comunitario en núcleos agrarios de cuencas rurales del trópico seco en Michoacán. Memorias del II Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Villa hermosa, Tabasco.
- Costanza, R., Duplisea, D. and Kautsky, U. 1998. Ecological modelling on modelling ecological and economic systems with STELLA. *Ecological Modelling* 110, 1-4.
- Costanza R. y Gottlieb, S. 1998. Modelling ecological and economic systems with STELLA: Part II. *Ecological Modelling* 112. 81-84.
- Mysiak, J., H. Henrikson, C. Sullivan, J. Bromley, C. Pahl-Wostl (eds.) 2010. *The Adaptive Water Resources management handbook*. Earthscan Press, 199 pp
- van der Brugge, R.; R. van Raak. 2007. Facing the Adaptive Management Challenge: Insights from Transition Management. *Ecology and Society* 12(2): 33. [online]

# ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL TRAMO DEL RÍO PÁNUCO UBICADO ENTRE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS LAS ADJUNTAS Y PÁNUCO.

Gerardo SÁNCHEZ TORRES ESQUEDA<sup>A</sup>, Harim RUIZ DELGADO<sup>C</sup>, Rocío VARGAS CASTILLEJA<sup>b</sup>, y Miguel A. HACES ZORRILLA<sup>a</sup>.

<sup>a</sup>Profesor-Investigador, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller”, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Tampico-Madero, C.P. 89339 Tampico, Tamaulipas. E-mail: gsanchezt@uat.edu.mx.

<sup>b</sup>Estudiante de Doctorado en Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller”, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Tampico-Madero, C.P. 89339 Tampico, Tamaulipas.

<sup>c</sup>Estudiante de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller”, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Tampico-Madero, C.P. 89339 Tampico, Tamaulipas.

## RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio preliminar de disponibilidad de agua que se hizo en el tramo del Río Pánuco comprendido entre las estaciones hidrométricas Las Adjuntas y Pánuco. Para llevar a cabo este estudio se consideraron los registros históricos de escurrimientos medios mensuales en la estación hidrométrica Las Adjuntas para el período 1957-2006, así como los escurrimientos por cuenca propia para ese tramo del río, los flujos de retorno, los volúmenes de evaporación, el caudal ecológico, las demandas de agua para riego y uso público urbano; así como, la posible transferencia de agua para la ciudad de Monterrey dentro del proyecto denominado Acueducto Monterrey VI, el cual comprende una extracción de agua del Río Pánuco de hasta 15 m<sup>3</sup>/s. El análisis se hizo considerando las condiciones de gastos medios, gastos mínimos y gastos máximos mensuales y se pudo determinar que el proyecto denominado Acueducto Monterrey VI no es factible. Bajo condiciones de gastos medios mensuales durante la época de estiaje, especialmente durante el mes de Marzo, se presentan condiciones de déficit de agua en ese tramo del Río Pánuco, además de que se limitaría cualquier aprovechamiento adicional aguas arriba de la estación hidrométrica Las Adjuntas, como también se tendría una condición de mayor riesgo de intrusión de la cuña salina. Bajo condiciones de gastos mínimos mensuales simplemente el proyecto Acueducto Monterrey VI no es viable. Bajo estas condiciones 10 meses del año se tendrían condiciones de déficit de agua. Para las condiciones de gastos máximos mensuales no se presentarían problemas de escasez de agua. En este estudio se concluye que el proyecto Acueducto Monterrey VI no es viable bajo el esquema de extracción de 15 m<sup>3</sup>/s. Solamente es posible suministrar esa demanda de agua durante el período Julio-Octubre, pero además se requerirán otro tipo de inversiones para asegurar la creciente demanda de agua de los diferentes usuarios de agua que operan dentro de la cuenca del Río Pánuco. Este estudio recomienda el desarrollo del modelo de disponibilidad de agua para toda la cuenca del Río Pánuco aplicando el programa WEAP.

**Palabras clave:** demanda de agua, balance hidráulico, disponibilidad de agua

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente empiezan a darse, o a incubarse, conflictos por el agua en diferentes regiones de México que pueden tener consecuencias graves para el desarrollo social y económico de regiones amplias del país, así como impactos severos al medio ambiente. En algunas regiones del país los conflictos por el agua tienen décadas desarrollándose (como es el caso del Sistema Cutzamala para llevar agua del Estado de México al Distrito Federal, o en diferentes puntos de la cuenca del Río Lerma-Santiago), y más o menos estos conflictos se han mantenido bajo control. Sin embargo, esto no asegura que estos problemas se mantengan todo el tiempo bajo control.

Una región nueva en donde se está incubando un conflicto serio por el agua es entre los estados de Nuevo León y Veracruz, por el pretendido *Proyecto Acueducto Monterrey VI*, que comprende la extracción de hasta 15 m<sup>3</sup>/s del Río Pánuco para llevar a la ciudad de Monterrey. La forma en cómo se ha manejado políticamente este proyecto, cómo se han manipulado los registros de escurrimientos del Río Pánuco, cómo se ha desarrollado el proyecto ejecutivo, y cómo se hizo el estudio de “impacto ambiental”, dan muestra una vez más de los errores garrafales que cometen los políticos en México, ignorando, o simplemente despreciando la Ley de Aguas Nacionales.

A principios del año 2012 los autores de este artículo empezaron a involucrarse en este tema, junto con integrantes del Colegio Mexicano de Ingenieros y Arquitectos, A.C., Capítulo Tampico. Dada la importancia y trascendencia de este problema, Harim Ruiz (coautor de este artículo) empezó a trabajar en este problema para desarrollar su tesis de licenciatura, y los trabajos de los autores de este artículo, junto con los trabajos de los colegas del Colegio Mexicano de Ingenieros y Arquitectos, se aceleraron después de la presentación que hicieron del *Proyecto Acueducto Monterrey VI* funcionarios y consultores de la empresa *Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM)* en Septiembre de 2012 en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller” de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (FIANS-UAT), en su campus Tampico-Madero.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es indiscutible que la zona metropolitana de Monterrey, al igual que muchas otras zonas urbanas en México, ubicada en el altiplano mexicano, entre los dos sistemas montañosos denominados como Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental, carece de los recursos hídricos suficientes como para mantener el ritmo de crecimiento poblacional y económico que ha tenido en las últimas cinco décadas. El volumen anual de agua disponible en el ciclo hidrológico de esa región ya no es suficiente para satisfacer la demanda creciente de agua de los sectores público urbano, agrícola e industrial que se está actualmente dando en la zona metropolitana de Monterrey. En la presentación que hicieron los funcionarios y consultores de SADM en la FIANS-UAT expusieron que con la infraestructura y suministro actual de agua a la zona metropolitana de Monterrey, se tiene asegurado el abasto de agua únicamente para los próximos 3 a 4 años. Debido a la vocación industrial de esa zona urbana y al crecimiento que se espera en el corto plazo de esas mismas actividades industriales, y al crecimiento propio de la población, las necesidades de agua de la zona metropolitana rebasarán con mucho la disponibilidad actual de agua para la zona metropolitana de Monterrey. En esa presentación se expusieron diferentes alternativas de proyectos que se han

analizado para incrementar el suministro de agua para Monterrey, y según los funcionarios y consultores de SADM, la única alternativa “factible” es el llevar agua del Río Pánuco a la zona metropolitana de Monterrey. Y para ello mostraron información relacionada con la asignación otorgada por la CONAGUA para extraer hasta 15 m<sup>3</sup>/s (473.03 millones de m<sup>3</sup> al año) del Río Pánuco para suministrar ese caudal a la zona metropolitana de Monterrey. Esa asignación está consignada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) del 21 de Enero de 2008. Sin embargo, es importante hacer notar que cuando se otorgó esa asignación, el proyecto ejecutivo del *Acueducto Monterrey VI* no estaba terminado (todavía hasta la fecha ese proyecto no está concluido), no se había hecho ningún estudio de impacto ambiental de ese proyecto, y la toma de decisiones para otorgar esa asignación de 15 m<sup>3</sup>/s a SADM no pasó por el Consejo de Cuenca del Río Pánuco, como lo estipula claramente la Ley de Aguas Nacionales.

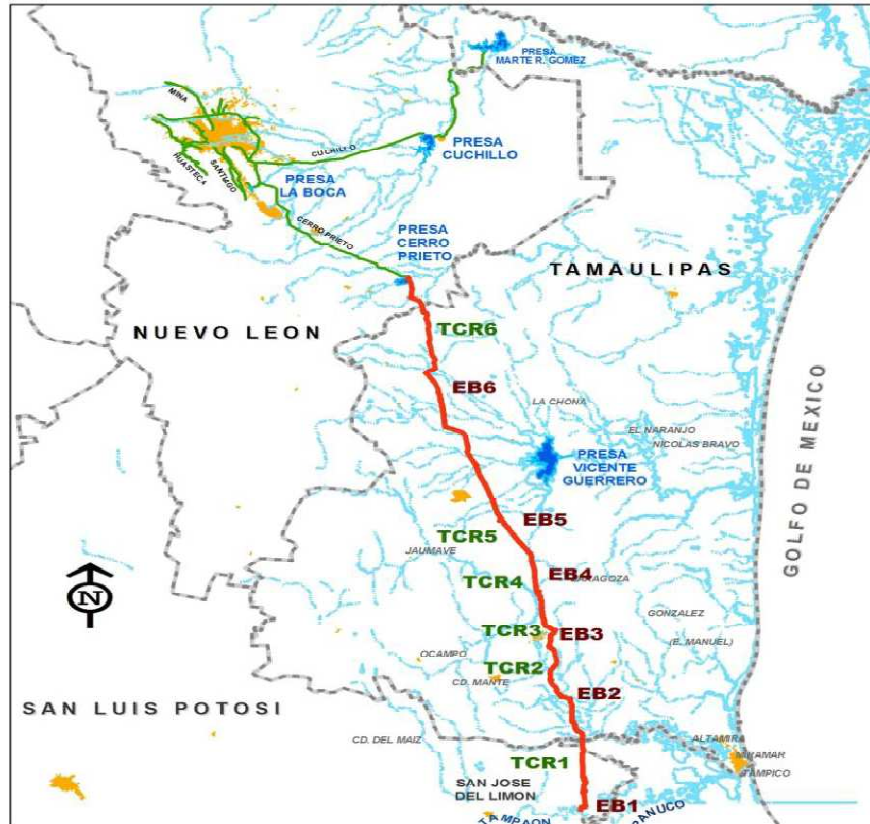
Con base en el estudio hecho por Carmona y Delgado (2013), los datos principales de la primera etapa del *Proyecto Acueducto Monterrey VI* son los siguientes:

- Longitud total del acueducto: 520 km
  - Acueducto existente: 130 km
  - Acueducto por construir: 390 km
- Caudal de diseño de la primera etapa: 6 m<sup>3</sup>/s
- Caudal medio: 5 m<sup>3</sup>/s
- Diámetro de la tubería: 48 pulgadas (1.22 m)
- Elevación en la obra de toma: 20.0 msnm
- Elevación en la Presa Cerro Prieto: 285.0 msnm
- 6 estaciones de bombeo, con régimen combinado de bombeo y gravedad
- Proyecto registrado y ratificado ante la SHCP
- Estudio de impacto ambiental “aprobado”
- Asignación de agua por 15 m<sup>3</sup>/s
- Costo total aproximado del proyecto: 14,502 millones de pesos

En la Figura 1 se muestra un esquema general de la ubicación de la obra de toma y del trazo del acueducto hasta llegar a la Presa Cerro Prieto, en el estado de Nuevo León. En esta Figura 1 se puede observar que el trazo del acueducto va a cruzar una buena parte de Tamaulipas. Los autores de este artículo no pudieron tener acceso al estado que guardan las negociaciones para asegurar los derechos de vía e indemnizaciones por la posible construcción de este acueducto.

El planteamiento que hace SADM sobre las bondades de su proyecto no toma en cuenta los derechos de agua actualmente vigentes en la zona comprendida en el punto donde se intenta extraer los 15 m<sup>3</sup>/s, no toma en cuenta los incrementos futuros de la demanda de agua en la cuenca del Río Pánuco, no toma en cuenta las nuevas disposiciones para mantener el caudal ecológico en el Río Pánuco, tampoco considera el impacto que este proyecto pueda tener sobre el fenómeno de intrusión de la cuña salina, y simplemente ignoró el fenómeno del cambio climático. En estudios que se han hecho en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (CCA-UNAM), se ha llegado a concluir que la cuenca del Río Pánuco es una de las cuencas más vulnerables a los impactos del cambio climático y que las proyecciones de la precipitación, estimadas por todos los modelos de circulación general, indican que se esperan reducciones en la precipitación media anual e incrementos en la temperatura media anual. A menor precipitación, menor escurrimiento, y a

mayor temperatura, mayor evaporación, y con ello menor disponibilidad de agua en la cuenca del Río Pánuco.



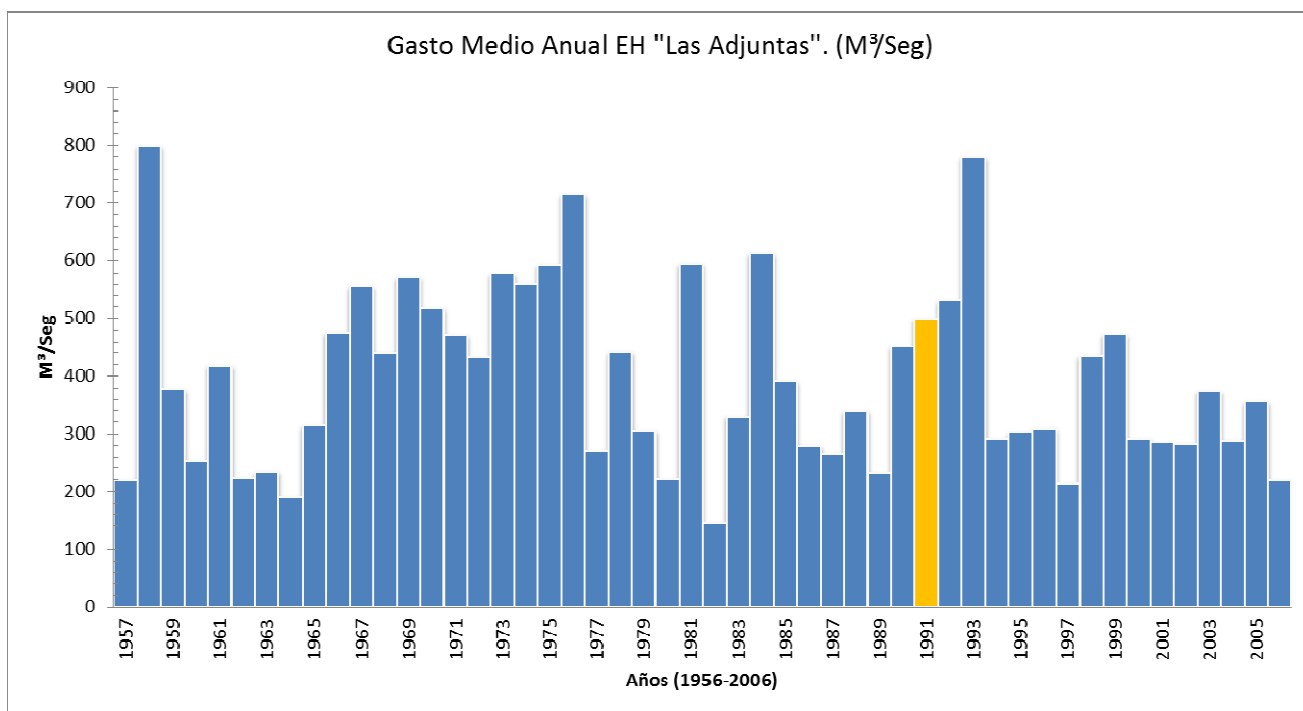
**Figura 1.** Trazo del Proyecto Acueducto Monterrey VI.  
(Fuente: Carmona y Delgado (2013))

### 3. BALANCE HIDRÁULICO PRELIMINAR

Con el propósito de revisar la factibilidad del *Proyecto Acueducto Monterrey VI* se llevó a cabo un balance hidráulico mensual para el período Enero de 1957 a Diciembre de 2006, e igualmente se hizo un análisis rápido del balance hidráulico considerando los escenarios de gastos medios mensuales, gastos mínimos mensuales y gastos máximos mensuales. Para esto se utilizaron los registros históricos de escurrimientos contenidos en el Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS) de la CONAGUA, se utilizaron los datos contenidos en el análisis de disponibilidad de agua en la cuenca del Río Pánuco publicado en el DOF del 18 de Julio de 2011, y se utilizaron también registros de evaporación del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). El área de estudio comprendió el tramo del Río Pánuco comprendido entre las estaciones hidrométricas Las Adjuntas y Pánuco, en el municipio de Pánuco, Veracruz.



En la Figura 2 se muestran los escurrimientos medios anuales registrados en la EH Las Adjuntas. El año de 1991 fue inferido y se indica en la Figura 2 en color amarillo. En esta misma figura se puede observar como a partir del año 1994 los escurrimientos en la EH Las Adjuntas se han mantenido más o menos estables; sin embargo, esos escurrimientos son menores a los que se registraron en décadas anteriores.



**Figura 2.** Escurrimientos medios anuales en la EH Las Adjuntas.  
(Fuente: BANDAS de la CONAGUA).

La ecuación de balance hidráulico que se aplicó en el tramo comprendido entre las EH Las Adjuntas y Pánuco, para el escenario de gasto medios mensuales, se muestra a continuación:

$$D_f = Q_{mm} + Q_{mcp} + Q_{mr} - Q_{mev} - Q_{ecol} - D_{apr} - D_{apur} - D_{acaa} - D_{amty}$$

Donde:

$D_f$  = Disponibilidad final de agua, m<sup>3</sup>/s

$Q_{mm}$  = Gasto medio mensual, m<sup>3</sup>/s

$Q_{mcp}$  = Gasto medio mensual por cuenca propia, m<sup>3</sup>/s

$Q_{mr}$  = Gasto medio mensual por flujos de retorno, m<sup>3</sup>/s

$Q_{mev}$  = Gasto medio mensual por evaporación, m<sup>3</sup>/s

$Q_{ecol}$  = Caudal ecológico, m<sup>3</sup>/s

$D_{apr}$  = Demanda de agua para riego, m<sup>3</sup>/s

$D_{apur}$  = Demanda de agua para uso público urbano y rural, m<sup>3</sup>/s

$D_{acaa}$  = Demanda de agua comprometida aguas abajo de la EH Pánuco, m<sup>3</sup>/s

$D_{amty}$  = Demanda de agua para Monterrey, m<sup>3</sup>/s

En la Tabla 1 se muestran los resultados del balance hidráulico para el escenario de gastos medios mensuales. Todos los datos considerados para el cálculo de esta tabla corresponden a los datos contenidos en el DOF del 18 de Julio de 2011. Los caudales ecológicos considerados para este análisis no corresponden a los criterios contenidos en la nueva norma mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 para determinar los caudales ecológicos. En este análisis se mantuvieron los caudales ecológicos considerados en el estudio de disponibilidad de agua del DOF del 18 de Julio de 2011. Si se incorporaran los criterios establecidos en la nueva norma para estimar los caudales ecológicos, la disponibilidad preliminar de agua (antes de la demanda de agua para Monterrey) se vería disminuida aún más y eso tendría negativo aún mayor en la disponibilidad final de agua.

Como se puede ver en la Tabla 1, la disponibilidad preliminar de agua en los meses de Marzo y Abril ya es negativa, y en el momento en que se aplica la demanda de agua para Monterrey se ve claramente que los meses de Febrero, Marzo y Abril tienen disponibilidades finales de agua negativas. El mes de Mayo tiene una disponibilidad final de  $1.79 \text{ m}^3/\text{s}$ , la cual impediría cualquier aprovechamiento adicional de agua en ese tramo del Río Pánuco. Los valores que se muestran en la parte inferior de la Tabla 1 son los valores contenidos en el DOF del 18 de Julio de 2011. Como se puede ver, el DOF indica que se tiene una disponibilidad media anual en ese tramo del Río Pánuco de 8,480.92 millones de  $\text{m}^3$ , mientras que los cálculos que se hicieron en este estudio dieron como resultado una cantidad de 8,545.05 millones de  $\text{m}^3$ .

La conclusión que se puede obtener de este análisis es que bajo el escenario de gastos medios mensuales, únicamente se le podría suministrar agua a Monterrey durante la época de avenidas comprendida en los meses de Julio a Octubre, en donde los escurrimientos en ese tramo del Río Pánuco son suficientes para satisfacer las demandas actuales y futuras de agua dentro de la cuenca del Río Pánuco, y por lo tanto, se estaría en posibilidad de suministrar los  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  de agua para Monterrey. El resto del año el acueducto para Monterrey tendría que estar sin operación alguna. Una vez más es importante recalcar que este análisis no comprende ninguna consideración sobre las demandas futuras de agua dentro de la cuenca del Río Pánuco, el fenómeno de intrusión de la cuña salina y el impacto que el cambio climático pueda tener en esta región de la cuenca del Río Pánuco.

Mes	Q medio mensual m3/s	Q mensual Cp m3/s	Q mensual retorno R m3/s	Q mensual evaporación m3/s	Gasto Ecológico medio men min m3/s	Q mensual dem. Agua para riego m3/s	Q mensual dem. Agua PU y Rural m3/s	Q mensual dem. Agua Comp A.A m3/s	Dispon. preliminar de agua m3/s	Proyecto Mty VI m3/s	Dispon. final de agua m3/s
Ene	161.01	2.09	11.26	1.97	99.57	13.36	7.00	14.91	37.56	15.00	22.56
Feb	135.92	1.68	11.26	2.88	99.57	13.36	7.00	13.47	12.59	15.00	-2.41
Mar	113.13	1.47	11.26	4.02	99.57	13.36	7.00	14.91	-13.00	15.00	-28.00
Abr	118.88	2.42	11.26	5.11	99.57	13.36	7.00	14.43	-6.91	15.00	-21.91
May	140.99	4.95	11.26	5.57	99.57	13.36	7.00	14.91	16.79	15.00	1.79
Jun	375.14	10.91	3.87	5.28	99.57	0.00	7.00	0.00	278.08	15.00	263.08
Jul	691.23	12.30	3.87	4.63	128.23	0.00	7.00	0.00	567.54	15.00	552.54
Ago	562.53	9.95	3.87	4.62	128.23	0.00	7.00	0.00	436.50	15.00	421.50
Sep	992.95	14.26	3.87	3.87	128.23	0.00	7.00	0.00	871.99	15.00	856.99
Oct	838.87	5.52	3.87	3.19	128.23	0.00	7.00	0.00	709.84	15.00	694.84
Nov	341.95	2.22	11.26	2.39	99.57	13.36	7.00	14.43	218.68	15.00	203.68
Dic	228.97	2.30	11.26	1.86	99.57	13.36	7.00	14.91	105.83	15.00	90.83
<b>Vol Mm³</b>	<b>12,399.44</b>	184.69	257.46	119.40	3,444.51	<b>244.99</b>	<b>220.89</b>	<b>267.19</b>	8,545.05	<b>473.36</b>	<b>8,071.95</b>

<b>D.O.F.</b>	<b>12,184.43</b>	184.69	257.46	119.40	3,444.51	<b>404.57</b>		273.18	8,480.96		
---------------	------------------	--------	--------	--------	----------	---------------	--	--------	----------	--	--

**Tabla 1.** Análisis de disponibilidad de agua en el tramo del Río Pánuco comprendido entre las EH Las Adjuntas y Pánuco, considerando el escenario de gastos medios mensuales.

En la Tabla 2 se muestran los resultados para el escenario de gastos mínimos mensuales, escenario bajo el cual se tendrían problemas de disponibilidad preliminar negativa durante 10 meses del año y esta disponibilidad negativa se acentuaría aún más cuando se aplicara el suministro de agua para Monterrey. Solamente los meses de Septiembre y Octubre sería posible suministrar el flujo que pretende el SADM enviar a Monterrey. Estos resultados indican que durante un año de sequía simplemente se tendría que cancelar el suministro de agua a Monterrey. Algunos promotores de este proyecto podrán argumentar que este escenario de gastos mínimos es extremo y poco probable que se llegue a presentar; sin embargo, este escenario sí es probable que se presente. De hecho las condiciones de escurrimientos en el Río Pánuco, en lo que va de este año 2013, corresponden a una condición de sequía, y si se toma en cuenta el impacto negativo del cambio climático, en los años por venir la condición de sequía puede pasar a ser un escenario común en el régimen de escurrimientos en la cuenca del Río Pánuco.

La conclusión que se obtiene de los resultados mostrados en las Tablas 1 y 2 es que el Proyecto Acueducto Monterrey VI no es viable durante la época de estiaje en condiciones normales de escurrimientos, y simplemente no es viable bajo una condición de sequía, con escurrimientos mínimos en el Río Pánuco. Toda esta situación lleva también a retomar y reevaluar toda la infraestructura hidráulica que se había identificado para el control y almacenamiento de los escurrimientos en la cuenca media y baja del Río Pánuco durante las décadas de los 1960 y 1970 durante la operación del Plan Nacional Hidráulico, en ese entonces bajo la coordinación de la extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Ese Plan Nacional Hidráulico simplemente no se llevó a cabo en la cuenca del Río Pánuco, se dejó de invertir en infraestructura

hidráulica y hoy simplemente no se puede hacer más para suministrar agua a la ciudad de Monterrey.

Mes	Q mensual mínimo m3/s	Q mensual Cp m3/s	Q mensual retorno R m3/s	Q mensual evaporación m3/s	Gasto Ecológico medio men mín m3/s	Q mensual dem. Agua para riego m3/s	Q mensual dem. Agua PU y Rural m3/s	Q mensual dem. Agua Comp A.A m3/s	Dispon. preliminar de agua m3/s	Proyecto Mty VI m3/s	Dispon. final de agua m3/s
Ene	74.60	2.09	11.26	1.97	99.57	13.36	7.00	14.91	-48.85	15.00	-63.85
Feb	59.41	1.68	11.26	2.88	99.57	13.36	7.00	13.47	-63.92	15.00	-78.92
Mar	62.24	1.47	11.26	4.02	99.57	13.36	7.00	14.91	-63.89	15.00	-78.89
Abr	47.68	2.42	11.26	5.11	99.57	13.36	7.00	14.43	-78.11	15.00	-93.11
May	42.43	4.95	11.26	5.57	99.57	13.36	7.00	14.91	-81.76	15.00	-96.76
Jun	73.05	10.91	3.87	5.28	99.57	0.00	7.00	0.00	-24.02	15.00	-39.02
Jul	86.17	12.30	3.87	4.63	128.23	0.00	7.00	0.00	-37.52	15.00	-52.52
Ago	75.61	9.95	3.87	4.62	128.23	0.00	7.00	0.00	-50.42	15.00	-65.42
Sep	194.81	14.26	3.87	3.87	128.23	0.00	7.00	0.00	73.85	15.00	58.85
Oct	266.66	5.52	3.87	3.19	128.23	0.00	7.00	0.00	137.63	15.00	122.63
Nov	114.93	2.22	11.26	2.39	99.57	13.36	7.00	14.43	-8.34	15.00	-23.34
Dic	97.23	2.30	11.26	1.86	99.57	13.36	7.00	14.91	-25.92	15.00	-40.92
<b>Vol Mm³</b>	<b>3,147.58</b>	184.69	257.46	119.40	3,444.51	<b>244.99</b>	<b>220.89</b>	267.19	-706.81	<b>473.36</b>	<b>-1,181.56</b>
<b>D.O.F.</b>	<b>12,184.43</b>	184.69	257.46	119.40	3,444.51	<b>404.57</b>		273.18	8,480.96		

**Tabla 2.** Análisis de disponibilidad de agua en el tramo del Río Pánuco comprendido entre las EH Las Adjuntas y Pánuco, considerando el escenario de gastos mínimos mensuales.

#### 4. CONCLUSIONES

Bajo condiciones de escurrimientos medios mensuales el pretendido *Proyecto Acueducto Monterrey VI* no es viable durante todo el año. Solamente durante la época de avenidas sí es factible suministrar los 15 m<sup>3</sup>/s que como máximo se extraerían del Río Pánuco para llevar a la zona metropolitana de Monterrey. Bajo condiciones de escurrimientos mínimos mensuales solamente durante dos meses del año sería posible suministrar esos 15 m<sup>3</sup>/s a la ciudad de Monterrey. Por lo tanto, en la forma en como está concebido este proyecto en este momento no es viable hidrológicamente hablando, tendría un impacto negativo sobre el medio ambiente y además cancelaría toda posibilidad de desarrollo económico y social futuro en la cuenca media y baja del Río Pánuco. Además, la enorme inversión que se tendría que hacer para su construcción, y posteriormente su operación y mantenimiento, correría el grave riesgo de perderse por la falta de visión y respeto a las leyes mexicanas por parte de los funcionarios públicos de diferentes agencias de los gobiernos de Nuevo León y Federal que promueven en este momento este proyecto en su concepción actual.

Para que este proyecto pueda ser viable se requerirá retomar todo el plan de desarrollo hidráulico contemplado en el Plan Nacional Hidráulico para construir las presas de almacenamiento que se

requerirán tener para asegurar el abasto de agua a todos los usuarios de agua en la cuenca del Río Pánuco y luego establecer criterios completamente técnicos y que aseguren el manejo sustentable de los recursos hídricos de la cuenca, para entonces sí evaluar la posibilidad de exportar agua a otras regiones, como podría ser el caso de la zona metropolitana de Monterrey.

Este análisis requerirá de la aplicación de todos los conocimientos técnicos que se tengan sobre el manejo integral de los recursos hídricos y de la aplicación de herramientas de computo, como lo es el programa WEAP, para poder modelar el proceso de disponibilidad de agua en toda la cuenca del Río Pánuco. El programa WEAP permite incorporar en el proceso de modelación de la disponibilidad de agua las condiciones actuales de operación del sistema hidráulico y de derechos de agua, y después permite incorporar un sinnúmero de escenarios que comprendan nuevos usuarios de agua, nueva infraestructura hidráulica, nuevas restricciones ambientales, nuevas tecnologías de riego, y sobre todo los impactos que el cambio climático va a tener sobre la cuenca del Río Pánuco. El desarrollo del modelo WEAP para la cuenca del Río Pánuco se deberá desarrollar lo más pronto posible, para llevar a cabo este proceso de modelación que permita tomar las mejores decisiones en materia de manejo de los recursos hídricos de la cuenca del Río Pánuco.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores este artículo agradecen a los colegas del proyecto “Evaluación y monitoreo de la vulnerabilidad ante el cambio climático de las zonas costeras de Tamaulipas” de la FIANS-UAT e IPN CICATA-Altamira y a los colegas del Colegio Mexicano de Ingenieros y Arquitectos, A.C., Capítulo Tampico, por sus comentarios, observaciones y contribuciones a este trabajo.

## **Referencias**

- Carmona, F. y Delgado, J.R. (2013). Análisis preliminar simplificado de disponibilidad de agua en el Río Pánuco. Evaluación de la sustentabilidad hidrológica del Proyecto Acueducto Monterrey VI. Cuenca del Río Pánuco. Tramo EH Las Adjuntas- EH Pánuco. Colegio Mexicano de Ingenieros y Arquitectos, A.C., Capítulo Tampico. Tampico, Tamaulipas.
- Secretaría de Economía (2012). Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2011). Diario Oficial de la Federación publicado el 18 de Julio de 2011. Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Pánuco 1 y Pánuco 2.



# PLANEACION HIDRICA DE LARGO PLAZO EN EL CONSEJO DE CUENCA DEL ALTIPLANO

Israel VELASCO  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso. Jiutepec, Morelos, MX. 62550  
[ivelasco@tlaloc.imta.mx](mailto:ivelasco@tlaloc.imta.mx); [www.imta.gob.mx](http://www.imta.gob.mx)

## RESUMEN

Territorialmente, la región del Altiplano, también conocida como El Salado, ocupa 87,778 km<sup>2</sup>, con 22 municipios en San Luis Potosí, 19 en Zacatecas, 3 en Nuevo León y 3 en Tamaulipas. Administrativamente (en el OC Cuencas Centrales del Norte), de acuerdo con la regionalización de la CONAGUA, comprende sólo los municipios de Zacatecas y San Luis Potosí mencionados. Hidrológicamente comprende ocho sub cuencas hidrológicas endorreicas, aunque es una de las regiones menos favorecidas naturalmente por precipitación y escurrimiento superficial; la mayor parte de la demanda se suministra con agua subterránea, lo que crea un fuerte estrés hídrico y un desequilibrio (sobre explotación) que si no se atiende con oportunidad, pone en serio riesgo de colapso los sistemas productivos, económicos y sociales de la región.

La Agenda del Agua 2030 (AA2030) establece dos células de planeación: El Salado SLP y EL Salado Zac. Los volúmenes anuales (hm<sup>3</sup>) de oferta sustentable al año 2030 serían 382 y 472; las demandas podrían alcanzar los 686 y 716, y por ende las brechas probables se estiman en 304 y 244, respectivamente, que se presentarían si persiste la actual tendencia de uso del agua. Esto implica un serio desbalance que debe corregirse gradualmente, mediante diversas estrategias y proyectos de infraestructura y medidas de gestión que disminuyan el consumo de agua y hagan más eficiente su uso, con una importante inversión económica, para atender los 4 ejes rectores de la AA2030: cuencas y acuíferos en equilibrio, ríos limpios, cobertura universal de agua potable y saneamiento, y protección de asentamientos humanos ante fenómenos hidrometeorológicos extremos, así como en el fortalecimiento institucional, a través de las reformas del agua.

Ante un escenario poco promisorio, la aplicación del plan sustentado por la AA2030 se perfila como la mejor solución a largo plazo, indispensable para alcanzar el equilibrio hídrico regional y garantizar la estabilidad social, económica y ambiental.

Palabras clave: planeación hídrica, brecha hídrica, sustentabilidad ambiental, oferta demanda hídrica.

## INTRODUCCIÓN

Ante un entorno regional dinámico e incierto donde la gestión de los recursos hídricos y sus problemas inherentes (IMTA, 2010) se vuelven cada vez más complejos debido a su interacción con el medio ambiente y las sociedades que lo conforman, la necesidad de planear los recursos hídricos se vislumbra como un desafío que plantea una nueva forma de emprender acciones de solución.

Las orientaciones o directrices que han regido la administración, uso y cuidado del agua en México, han evolucionado de acuerdo a la situación social, económica y política del país.

En los albores del siglo XXI, se identifican tres principios básicos que respaldan la política hídrica:

- i . El manejo del agua debe realizarse por cuencas hidrológicas, considerando a éstas como las unidades de gestión del recurso.*
- ii . La participación organizada de los usuarios es indispensable, desde la definición de objetivos y estrategias para resolver la problemática del agua, hasta la implantación de las acciones para lograr el éxito en la conservación y preservación del recurso.*
- iii . La sustentabilidad, que permitirá satisfacer las demandas de los usuarios actuales sin comprometer las futuras, encontrando y operando mecanismos y estrategias que garanticen equilibrios de mediano y largo plazos.*

### **MARCO LEGAL**

El proceso de formulación, aprobación y ejecución del PHR de la Región Hidrológica Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte, responde a los principios que emanan de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y de los ordenamientos legales relacionados en la materia. Por tanto, las bases legales que fundamentan su integración son:

*Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*

*Ley de Planeación*

*Ley de Aguas Nacionales (LAN)*

La cuenca –según la LAN-, junto con los acuíferos, es la unidad territorial básica para la gestión integrada de los recursos hídricos y los ecosistemas relacionados, en cuyo seno se lleva a cabo la coordinación de la planeación, la realización y administración de las acciones de gestión del agua por cuenca hidrológica, a través de los Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares. Asimismo, establece las atribuciones de la CONAGUA, que es la responsable de integrar y formular el Programa Nacional Hídrico (PNH), así como de actualizar y vigilar su cumplimiento. Otras leyes relacionadas son:

*Ley Federal de Derechos*

*Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica*

*Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*

*Ley General para el Desarrollo Forestal Sustentable*

*Ley de Vida Silvestre*

*Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*

*Ley Orgánica de la Administración Pública Federal*

*Leyes Estatales*

### **UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS**

La llamada zona fisiográfica del Altiplano está formada por porciones de los estados de San Luis Potosí (SLP), Zacatecas, Nuevo León y Tamaulipas, y abarca una extensión aproximada de 87,778 km<sup>2</sup>. No obstante, de acuerdo con el decreto del enero de 2010, publicado en el DOF, y para fines



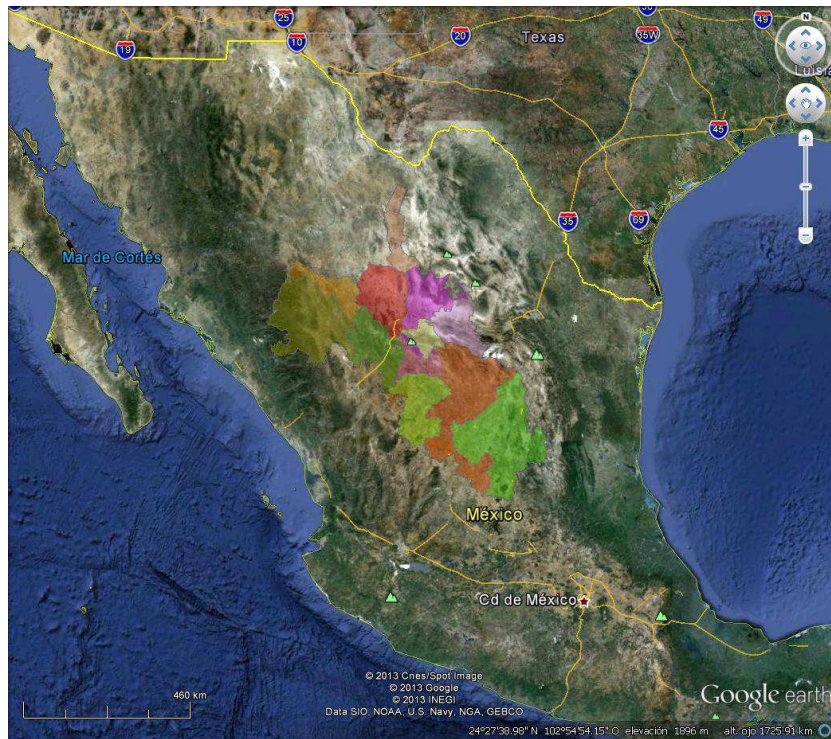
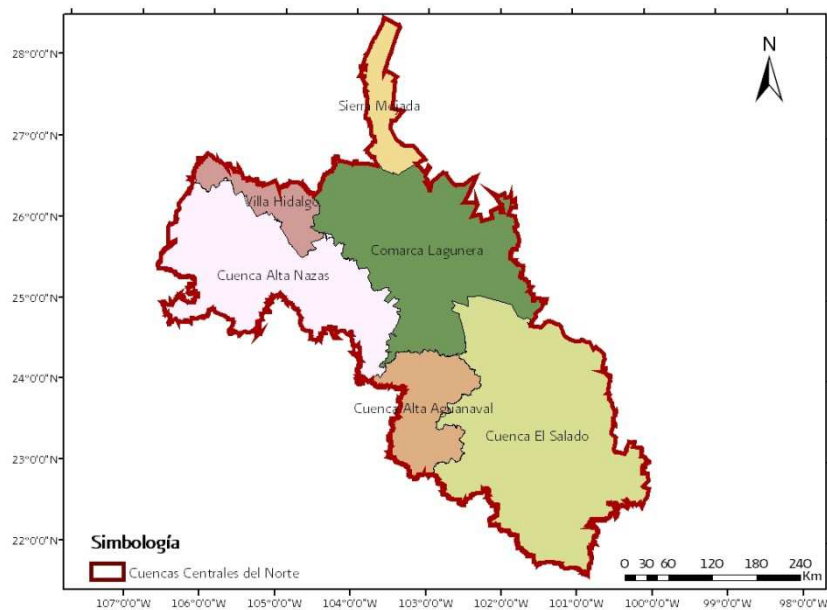


Figura 1.- Células de planeación de la RHA Cuencas Centrales del Norte

de planeación de largo plazo, administrativamente el Altiplano comprende a las partes de Zacatecas y SLP que pertenecen a esta región natural, y que se ubican en la región hidrológico-administrativa (RHA) Cuencas Centrales del Norte (CCN, Figura 1; Conagua, 2012)); las porciones correspondientes a Tamaulipas pasan a la RHA Golfo Norte, y las de Nuevo León a la RHA Río



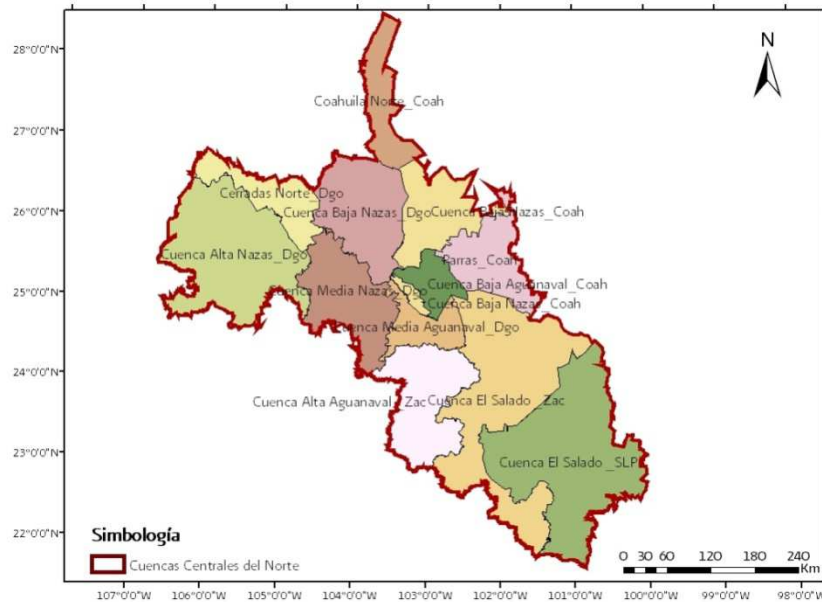
Bravo.

**Figura 2.-** Subregiones de planeación en la RHA Cuencas Centrales del Norte

En la parte sur de la RHA CCN se ubican las dos células que forman el Altiplano, y que se distinguen por su casi ausencia de corrientes superficiales, donde se ubican importantes centros urbanos como Zacatecas y San Luis Potosí, capitales de sus respectivos estados.

Territorialmente, el Altiplano comprende las células El Salado, Zacatecas (ES-Zac), con 31,986.14 km<sup>2</sup> en 20 municipios, y El Salado, San Luis Potosí (ES-SLP), con 33.446.07 km<sup>2</sup> en 22 municipios, para un total de 65,432.22 km<sup>2</sup> y 42 municipios (Figuras 2 y 3).

El Altiplano es una región hidrológicamente deficitaria, donde la lluvia anual es inferior a los 500 milímetros, concentrada en el periodo julio-septiembre, insuficiente para sostener una vegetación natural que cubra el suelo; es una típica zona árida y semiárida, con una amplia oscilación de temperatura diaria y estacional. Constituye, por sus características fisiográficas, una subregión de planeación dentro de la RHA CCN, en la que el agua es básicamente de origen subterráneo.



**Figura 3.-** Células de planeación de la RHA Cuencas Centrales del Norte

El Altiplano es una región muy homogénea en sus características naturales en cuanto a hidrografía, vegetación, clima, suelos y relieve. La población tiene una alta y creciente concentración urbana, en detrimento de la rural. Aunque las actividades del sector primario aún siguen siendo importantes, los sectores secundario y terciario tienden a crecer, a costa del primario. La agricultura de temporal es relativamente poca y en su gran mayoría de subsistencia; la agricultura de riego, más rentable y segura, tiene su suministro de agua a partir de los acuíferos, los que están sufriendo un deterioro acelerado, pues prácticamente son las únicas fuentes de agua; además, los usos domésticos, la industria y los servicios, también con significativas tasas de crecimiento, se surten de esta fuente.

Los acuíferos regionales ya muestran signos de sobre explotación, algunos de forma un tanto alarmante; igualmente, la contaminación, tanto natural por las aguas fósiles o mineralizadas, como inducida por las aguas negras y los pesticidas, disminuyen sensiblemente la calidad del agua y por ende su aprovechamiento. Particularmente, el abasto para uso doméstico, tanto urbano como rural, es cada vez más difícil, y se acentúa aún más en épocas de sequía y durante el estiaje, que en esta región puede llegar a ser muy intenso y severo.

## PROBLEMÁTICA REGIONAL

El desarrollo que ha tenido en las últimas décadas la región del Altiplano (demográfico, industrial, agropecuario, turístico), ha propiciado un notable incremento en la demanda de agua, ante una oferta que es naturalmente baja y limitada. La situación actual de la problemática regional relevante se puede concretar en lo siguiente, como producto de un diagnóstico (Conagua, 2012):

- Gobernanza ineficaz del agua, sobre concesionamiento y competencia
- Disponibilidad limitada, escasez de agua, y baja eficiencia en su uso
- Baja productividad del agua y rentabilidad de algunas actividades económicas
- Baja calidad, agotamiento y contaminación del agua y de los ecosistemas
- Contaminación del agua en cauces y acuíferos, y falta de medición
- Marginación social, magnificada por la recurrencia de la sequía
- Deficiencias en la prestación de servicios de agua por falta de pago
- Riesgos ambientales con repercusión económica y social
- Insuficiente mantenimiento, conservación y rehabilitación de infraestructura hidráulica
- Competencia entre usos, usuarios, que según la tendencia, se agudizarán a futuro

Todos estos problemas son relevantes, y adquieren dimensiones de verdaderas limitantes al desarrollo local, porque en estas áreas se concentran la mayor población y la mayor concentración de actividades económicas regionales.

Aunque el problema del arsenicismo es incipiente, cada vez adquiere más importancia como consecuencia de la sobre explotación de los acuíferos, siendo esto una manifestación patente del uso no sustentable y de las consecuencias que tiene en la población, específicamente en los aspectos de salud.

El déficit regional de agua superficial se ha tratado de remediar haciendo un uso más intensivo de las aguas subterráneas, para lo cual se han perforado múltiples pozos, algunos con su concesión debidamente legalizada, y otros de manera ilegal. No obstante, en ambos casos, la falta de medición y control de las extracciones ha provocado un sensible abatimiento de la calidad y la cantidad del agua extraída, deteriorando seriamente esta fuente de suministro hasta niveles en algunos casos alarmantes. La explotación de los acuíferos es, con mucho, uno de los problemas más serios, que requieren atención inmediata y a fondo, ya que los diversos sectores usuarios hacen un uso un tanto indiscriminado del agua subterránea, frecuentemente sin más limitantes en la extracción que sus requerimientos y su costo, pero sin considerar el aspecto de equilibrio y sustentabilidad.

## **LA SUSTENTABILIDAD AL AÑO 2030**

Estratégicamente, planear los recursos hídricos implica un análisis minucioso de la capacidad institucional y de organización con la que se cuenta, y al mismo tiempo, explorar el entorno y el medio ambiente en el que se insertarán las acciones por emprender. Planear desde un enfoque prospectivo incita a pensar que es posible diseñar un mejor futuro y no sólo la posibilidad de adaptación a los cambios; implica que la sociedad tenga un papel cada vez más activo respecto a su entorno presente y futuro, al ser corresponsable de lo que suceda con éste; por tal motivo la planeación deberá hacerse atendiendo las necesidades, intereses y derechos con los que cuentan los actores que participan en el proceso.

En este sentido, la CONAGUA, como responsable de administrar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, a través de sus Organismos de Cuenca, promueve y es líder del Sistema Nacional de Planeación de los Recursos Hídricos.

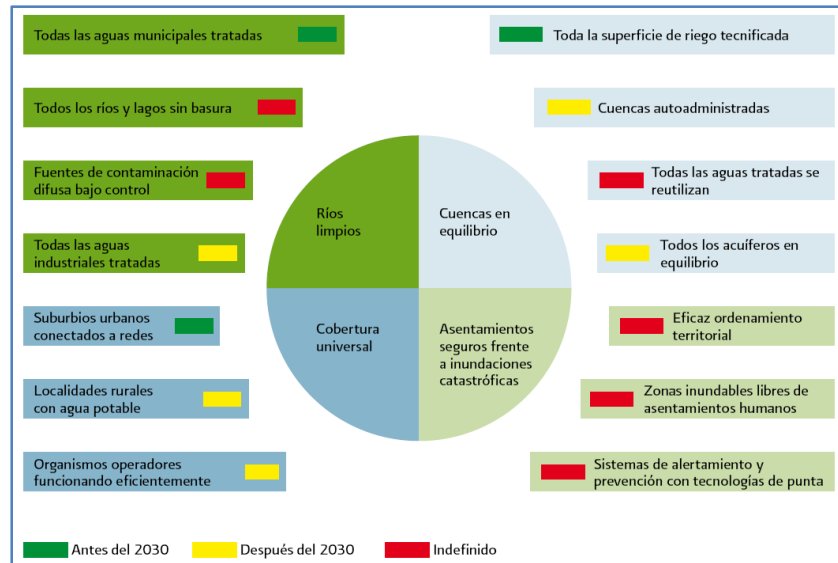
La Planificación y Programación Hídrica (PPH) tiene como núcleo integrador la Agenda del Agua 2030 (AA2030), iniciativa de la CONAGUA que busca consolidar a largo plazo la política hídrica de sustentabilidad del país, con el fin de convertirla en un gran foro permanente de consulta y participación en torno a los problemas, soluciones y fines que persigue y requiere el sector agua.

## **AGENDA DEL AGUA 2030**

Los problemas actuales del agua en el Altiplano, hacen necesario unir esfuerzos para sumar recursos y talentos con el fin de lograr que esta generación entregue a la siguiente un país que tenga:

- ◆ Ríos con aguas libres de contaminantes, que embellezcan ciudades y campos, con márgenes ordenadas y con abundante vida en su interior y su entorno.
- ◆ Cuencas en equilibrio, tanto en aguas superficiales como subterráneas, que posibiliten enfrentar con efectividad y sin excesivas angustias los impredecibles periodos de sequía.
- ◆ Ciudades y núcleos de poblaciones en los que la disponibilidad de agua potable sea un gran apoyo a la calidad de vida y en particular a la salud de las personas.
- ◆ Ciudades y poblaciones en las que al respetar los cauces naturales del agua no se tenga que vivir con el riesgo de sufrir inundaciones que arruinen el esfuerzo o que incluso cobren vidas humanas.

Ante esta visión de desarrollo sustentable del sector hídrico que se plantea en la AA2030 como parte de una estrategia de análisis y discusión, se definen cuatro ejes rectores que impulsan el logro de metas al mediano y largo plazo (Conagua, 2011).



**Figura 4.-** Visión de la Agenda del Agua 2030

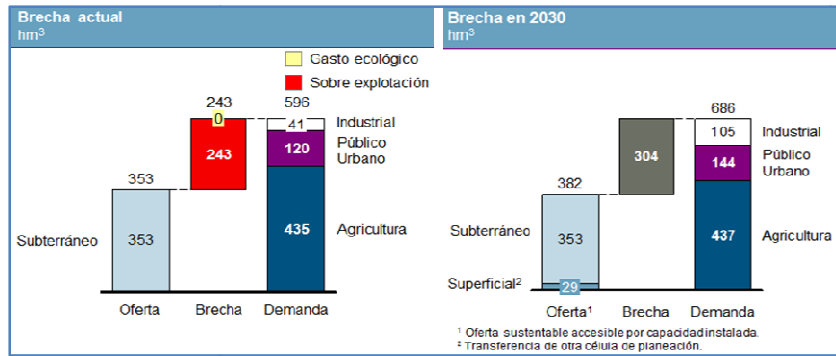
## ANÁLISIS TÉCNICO PROSPECTIVO

Los objetivos del Análisis Técnico Prospectivo (ATP) pueden sintetizarse en (Conagua, 2010):

- Analizar las alternativas para el uso sustentable del agua en el mediano y largo plazos en las células que conforman las RHA
- Analizar y definir estrategias y acciones que respalden la política hídrica regional basada en la Agenda del Agua 2030

El ATP permite la generación de curvas de costos microeconómicos y escenarios de oferta y demanda de agua para definir los lineamientos y criterios estratégicos que permitan el uso sustentable y el abastecimiento seguro y de calidad a los diferentes usuarios del agua, al menor costo posible con máximos beneficios.

Desde este enfoque, el desequilibrio actual en las células del Altiplano conduce a la llamada “brecha hídrica”, la parte de la demanda que se está suministrando de forma no sustentable, básicamente por la extracción excesiva de agua subterránea, en detrimento de los acuíferos.



**Figura 5.-** Estado actual y proyección al 2030 de la brecha hídrica ( $\text{hm}^3/\text{año}$ ) en la célula ES-SLP

Así, en el caso de EL-SLP, la brecha actual (2010) se estima de  $243 \text{ hm}^3/\text{año}$ , que es el volumen que se está extrayendo del subsuelo, superior a la recarga natural de los acuíferos, y en detrimento de ellos, es decir, es el valor de la sobre explotación. De seguir con la actual tendencia en el uso del agua, donde la creciente demanda se satisfaga extrayendo cada vez más agua, al 2030 esta sobre explotación podría significar una brecha de  $304 \text{ hm}^3/\text{año}$ , lo cual eventualmente, podría significar el colapso potencial de algunos acuíferos. Los  $29 \text{ hm}^3/\text{año}$  especificados en la oferta al 2030 se refieren al volumen que dará la presa El Realito para satisfacer la demanda de la zona metropolitana SLP-Soledad de Graciano Sánchez; con ello, se estima que se dejaría de extraer la misma cantidad de los acuíferos locales, pero en conjunto, el problema no se corrige (Conagua, 2012a).

Solucionar esta problemática local implica el diseño y aplicación de medidas que ayuden a ahorrar agua en alguna de sus formas: transferencia, reúso, reciclado, elevación de eficiencias, etc. El ATP determina que estas medidas a aplicar son 28, donde 6 son del sector agropecuario, 6 del sector industrial, 13 del sector municipal y 3 en oferta. Las medidas que se identifican para el sector agrícola contribuyen con el 59% de la brecha en la célula ( $180.55 \text{ hm}^3$ ). Las principales acciones se dirigen al riego por aspersión, calendarización de riego, labranza óptima de riego y riego de alta precisión, según se muestra en la Tabla 1.

Estos valores de recuperación de volúmenes son los óptimos económicos, derivados de un análisis beneficio/costo, y desde luego, tienen un costo de inversión, el cual en forma gráfica se muestra en la Figura 6, que es una “curva de costos”, en la que el valor de las ordenadas, el costo marginal, es la cantidad, en pesos/ $\text{m}^3$ , que se invierten para ahorrar o recuperar el volumen indicado; cabe mencionar que los costos marginales negativos son aquellos costos de inversión que son necesarios hacer pero que se recuperan a corto-mediano plazo, es decir, son los costos que se deben hacer para dejar de gastar; por ejemplo, este tipo de medidas son usuales en el sector municipal, donde pequeñas inversiones en cambiar llaves, regaderas, empaques, muebles sanitarios, etc., pueden significar sustanciales ahorros por menores volúmenes utilizados, por el arreglo de fugas domésticas, y por ende, en el monto de la facturación.

Tabla 1.- Principales medidas y características de la solución técnica (óptima) a aplicar en la célula ES-SLP.

Sector	Medida	Aportación total a la brecha (hm <sup>3</sup> )
Agropecuario	Riego por aspersión	111.123
	Calendarización de riego	47.323
	Labranza óptima riego	13.635
	Riego de alta precisión	8.402
	Incorporación de residuos	0.057
	Mejora de eficiencia secundaria	0.003
	<b>Total Agropecuario</b>	<b>180.545</b>
Industrial	Empaste desechos	7.889
	Red fugas industriales	3.153
	Reúso condensados	2.933
	Reducción presión agua	0.946
	Enjuague en seco	0.624
	Agua activada	0.583
	<b>Total Industrial</b>	<b>16.128</b>
Municipal	Reparación fugas	9.238
	Fugas domésticas	5.181
	Regaderas sustitutas	4.409
	Control de presión	4.388
	Mingitorios sin agua	3.356
	Fugas comerciales	1.832
	Inodoro doméstico sustituto	1.012
	Regaderas nuevo	0.693
	Llaves nuevo	0.161
	reúso riego parques	0.079
	Inodoro domestico nuevo	0.063
	Inodoro comercial nuevo	0.012
	Inodoro comercial sustituto	0.012
	<b>Total Municipal</b>	<b>30.435</b>
Oferta	Recarga de Acuíferos	49.154
	Reúso de Agua Tratada	25.734
	Nuevas Presas para	2.924

Tabla 1.- Principales medidas y características de la solución técnica (óptima) a aplicar en la célula ES-SLP.

Sector	Medida	Aportación total a la brecha (hm <sup>3</sup> )
	Riego	
	<b>Total Oferta</b>	<b>77.812</b>
	<b>Total</b>	<b>304.919</b>

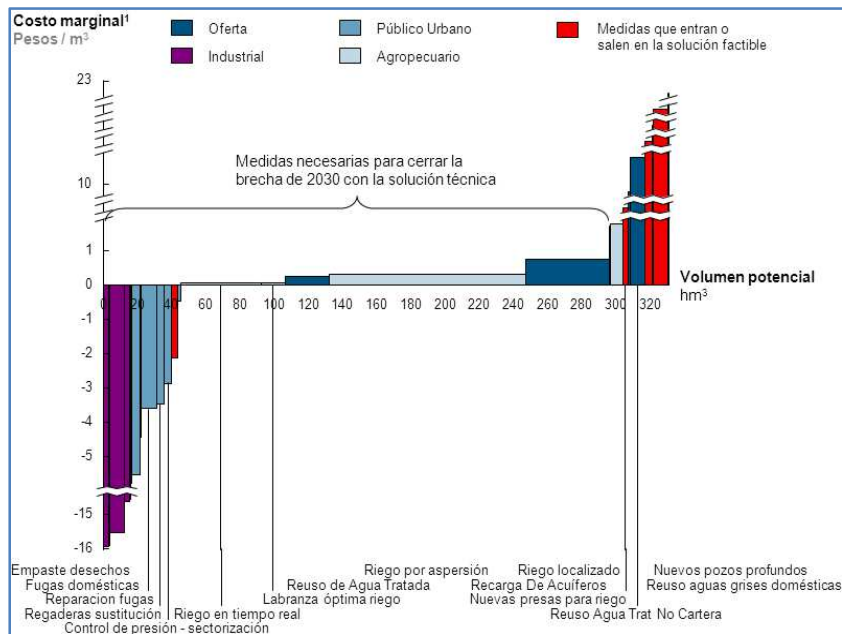
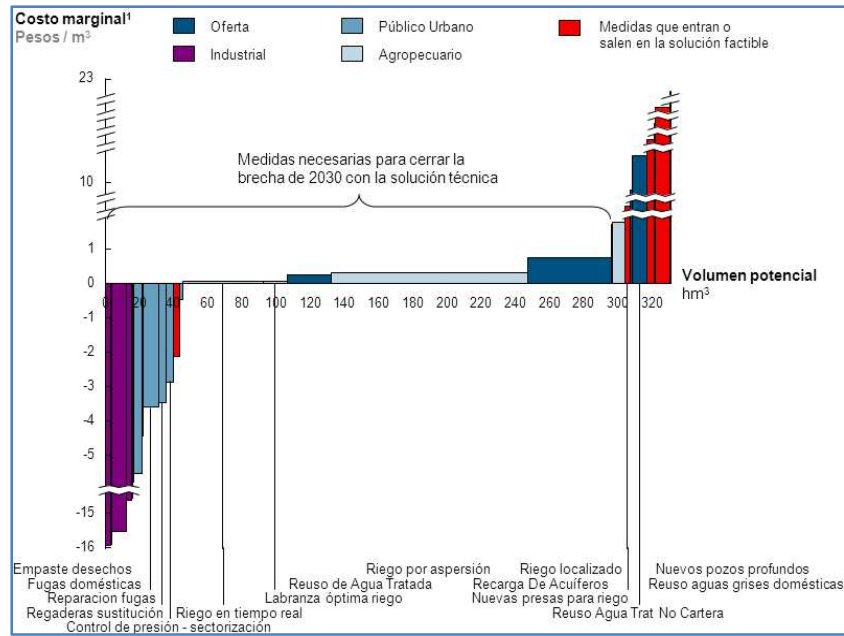


Figura 6.- Curva de costos (volúmenes-costos marginal) óptima para la célula ES-SLP

Para el caso de la célula ES-Zac, la brecha hídrica, actual y al 2030 se muestra en la figura 7. Como se puede apreciar, en esta célula también, los volúmenes a ahorrar por las medidas en el sector agrícola son las más significativas, y su potencial aplicación contribuye al cierre de la brecha más que los demás sectores (Conagua, 2012b).





**Figura 7.-** Estado actual y proyección al 2030 de la brecha hídrica ( $\text{hm}^3/\text{año}$ ) en la célula ES-Zac

La Tabla 2 muestra las medidas más importantes, por sector, en términos de su aportación a la brecha. Como se aprecia, es el sector agropecuario, que es el más demandante, también es el que tiene el mayor potencial de aportación a la brecha, dado que con el cambio o mejoramiento de los sistemas y métodos de riego, es factible la recuperación de importantes volúmenes de agua: en buena medida, modernizar el sector agrícola de riego tiene el potencial de resolver significativamente las condiciones actuales de déficit hídrico, y eventualmente, lograr que al término del horizonte de planeación, se alcance un estado de equilibrio que garantice la sustentabilidad ambiental, económica y social.

*Tabla 2.- Principales medidas y características de la solución técnica (óptima) a aplicar en la célula ES-Zac.*

Sector	Medida	Contribución a la brecha $\text{hm}^3$
Agropecuario	Calendarización de riego	67.66
	Labranza óptima riego	14.76
	Riego de alta precisión	17.17
	Riego por aspersión	107.63
	<b>Total agropecuario</b>	<b>207.22</b>
Industrial	Agua activada	3.25
	Empaste desechos	0.61
	Enfriamiento en	0.00

	seco	
	Enjuague en seco	3.49
	Reciclaje de agua	0.00
	Red fugas industriales	0.79
	Reducción presión agua	0.24
	Reúso condensados	0.00
	<b>Total industrial</b>	<b>8.37</b>
Municipal	Control de presión	2.10
	Fugas comerciales	0.64
	Fugas domesticas	2.25
	Inodoro comercial nuevo	0.20
	Inodoro comercial sustituto	0.20
	Inodoro domestico nuevo	1.08
	Llaves nuevo	0.05
	Mingitorios sin agua	1.58
	Regaderas nuevo	0.21
	Regaderas sustituto	2.08
	Reparación fugas	4.14
	Reúso riego parques	0.08
	<b>Total municipal</b>	<b>14.61</b>
Oferta	Recarga Acuíferos Terreno Natural	0.00
	Recarga Acuíferos Urbana	0.00
	Recarga De Acuíferos	13.24
	<b>Total oferta</b>	<b>13.24</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>243.43</b>

Desde luego, para llevar a cabo estas medidas, es necesario transformarlas en proyectos, de acuerdo con la normativa existente: gran visión, pre factibilidad, factibilidad, proyecto ejecutivo, y ejecución; y con la calendarización pertinente, para alcanzar el objetivo de la sustentabilidad al 2030. Esto implica un monto de inversión, que deberá salir de las diversas arcas, gubernamentales y privadas (de las cuotas y aportaciones de los usuarios), suficiente y oportuno para financiar las diversas fases de los proyectos, tales que garanticen su ejecución y puesta en operación. De acuerdo con el ATP, las inversiones necesarias estimadas para el eje de cuencas y acuíferos en equilibrio son

del orden que se muestra en le Tabla 3, a distribuirse durante los tres sexenios siguientes, en función de los diversos proyectos, su relación beneficio/costo, su importancia social y económica, el impacto y beneficio ambiental, y la disponibilidad de recursos para llevarlos a cabo.

*Tabla 3.- Monto estimado de las inversiones en el eje Cuencas y Acuíferos en Equilibrio, durante el horizonte de planeación*

<b>Célula</b>	<b>Inversión Total estimada al 2030 (millones de pesos de 2011)</b>
El Salado San Luis Potosí	5,016
El Salado Zacatecas	1,920
<b>Total</b>	<b>6,936</b>

## CONCLUSIONES

La AA2030 tiene como objetivo y compromiso: *“Entregar a la siguiente generación un México con cuencas y acuíferos en equilibrio, ríos limpios, agua potable en todos los hogares, y ciudades menos vulnerables a inundaciones catastróficas”*. En este trabajo se presentan análisis y resultados para el eje cuencas y acuíferos en equilibrio, el cual busca rescatar y ahorrar volúmenes al menor costo posible y con el máximo beneficio, para las células de planeación que forman la región de El Altiplano, en los estados de Zacatecas y San Luis Potosí.

Para ello es necesario alinearse con esta visión y asumir la política de sustentabilidad, como medio de afrontar y vencer los retos para los próximos años en cada uno de los ejes rectores, particularmente el de cuencas y acuíferos en equilibrio. Este es un paso trascendental en la política hídrica, porque rompe con el paradigma de sólo atender con nueva infraestructura la demanda creciente, cuando hay soluciones, como se demuestra en este programa, que pueden contribuir con igual importancia en cuanto a la aportación de volúmenes para cerrar la diferencia entre la oferta y la demanda, pero a un costo económico mucho más bajo que cualquier obra hidráulica por muy barata que ésta sea.

No obstante, las alternativas propuestas tienen un costo que debe pagarse. Por otro lado, también habrá que convencer a la sociedad que participe en el programa, ya que ella juega un papel altamente relevante, porque de ésta depende la ejecución de muchas de las acciones propuestas. Por esa razón, se debe manifestar la voluntad política de todos los actores involucrados en el programa, para garantizar su éxito.

Este programa ofrece esa opción: presenta soluciones que benefician a todos los actores, realiza un balance de todos los usos, y con el mínimo costo en las inversiones sí permite recuperar importantes volúmenes de agua que hoy se están perdiendo por actuar de manera inconsciente; sin embargo, también demanda una gran responsabilidad social. Sólo de esta manera será posible alcanzar la sustentabilidad y seguir teniendo disponible el más valioso recurso natural, hoy y en el futuro.

## REFERENCIAS

- Comisión Nacional del Agua, Conagua (2010). Subdirección General de Programación, Análisis Técnico Prospectivo – ATP.
- Comisión Nacional del Agua, Conagua (2011). Agenda del Agua 2030. <http://www.conagua.gob.mx>
- Comisión Nacional del Agua, Conagua (2012). Subdirección General de Programación. Programa Hídrico Regional 2030, Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte.
- Comisión Nacional del Agua, Conagua (2012a). Subdirección General de Programación. Programa de Acciones y Proyectos para la Sustentabilidad Hídrica del Estado de San Luis Potosí.
- Comisión Nacional del Agua, Conagua (2012b). Subdirección General de Programación. Programa de Acciones y Proyectos para la Sustentabilidad Hídrica del Estado de Zacatecas.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA (2010). Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Capítulo 4, Aguas Superficiales. Jiutepec, Morelos, México.

# MODELO ORGANIZATIVO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO DUERO, MICHOACÁN

José Luis PIMENTEL EQUIHUA<sup>a</sup> y Martha Alicia VELÁZQUEZ MACHUCA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México, [jequihua@colpos.mx](mailto:jequihua@colpos.mx)

<sup>b</sup>Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Michoacán, Justo Sierra 28, Jiquilpan, Mich. [mvelazquezm@ipn.mx](mailto:mvelazquezm@ipn.mx)

## RESUMEN

En el enfoque del manejo integrado de cuencas, el presente trabajo muestra una propuesta organizativa para la gestión del agua en la cuenca del río Duero, Michoacán. Se parte de un diagnóstico integral sobre la problemática hídrica en la zona y se identifica la contaminación de las aguas superficiales como la cuestión fundamental a resolver en la cuenca. A partir de la problemática hídrica en la cuenca y la identificación de los diversos actores sociales que en ella interactúan, se propone una alternativa de gestión del agua que incluye la división del territorio en cuatro subcuencas y la incorporación de representantes de los pueblos y comunidades en la organización formal de la Comisión de Cuenca del río Duero. Se busca con esto establecer una mayor descentralización en la toma de decisiones y mejorar la participación y acercamiento entre los actores sociales involucrados (CONAGUA, Comisión de Cuenca, Presidencias Municipales, Módulos de Riego, Organismos Operadores, Usuarios Agrícolas, Agroindustriales, Comités de Agua Potable en Comunidades Rurales e Instituciones de Apoyo). La estructura organizativa propuesta a partir de las cuatro subcuencas sería coordinada a su vez por la Comisión de Cuenca, entendida ésta como una unidad de integración y un foro de consensos sociales donde se puedan concertar las acciones específicas en la cuenca. Coincidimos con otros autores en que el manejo integral y sustentable de la cuenca es una necesidad social de organización eficaz y efectiva, y que en mucho depende del diseño organizativo adoptado (Palacios-Vélez y López-López, 2004).

*Palabras clave:* río Duero, organizaciones sociales, calidad del agua.

## 1 INTRODUCCIÓN

### MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS

A escala global, el enfoque de cuencas ha sido adoptado en muchos países como fundamento para el manejo de los recursos hídricos; tal enfoque constituye la base para avanzar hacia lo que se conoce como la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) (Dourojeanni, 2012). Como proceso, en el manejo de cuencas se busca ordenar las acciones que se llevan a cabo en la cuenca superficial o subterránea para alcanzar dos objetivos centrales: lograr el desarrollo social y económico sostenibles en el tiempo y conservar y/o mejorar la calidad medioambiental de los sistemas ecológicos (González, 2004).

En este contexto, se ha de buscar una visión de conjunto en las acciones que realizan las entidades públicas y privadas que interactúan en una cuenca, con el propósito de buscar soluciones a la problemática hídrica específica, donde las acciones independientes o parciales no darían soluciones adecuadas. La coordinación entre las entidades es, por tanto, obligada y permanente (Peña et al., 2012).

El reconocimiento de los diversos actores sociales que interactúan en una cuenca y su inclusión en el diseño y puesta en marcha de medidas tendientes a solucionar la problemática hídrica, es parte fundamental de una GIRH. Los pueblos y comunidades que habitan en tal territorio tienen en su haber un cúmulo de conocimientos tradicionales sobre su entorno ambiental; estos conocimientos son de importancia en los estudios de cuencas porque ayudan a la identificación de procesos y elementos útiles en el manejo adaptativo, la resiliencia y la acción participativa para el sostenimiento de los ecosistemas (Stanford y Pool, 1996, citado por Mass, 2004).

A partir del enfoque de manejo integrado de cuencas, se plantea en el presente trabajo una alternativa de modelo organizativo en la cuenca del río Duero que incluye la división del territorio en subcuencas y la participación y el aporte con conocimientos tradicionales de pueblos y comunidades en las acciones tendientes a solucionar problemas en torno al saneamiento de las aguas superficiales contaminadas con aguas residuales urbanas, enunciado en diversos trabajos publicados sobre el tema (Velázquez, 2005; Velázquez *et al.*, 2010).

## **2 LA CUENCA RÍO DUERO Y SU PROBLEMÁTICA HÍDRICA**

### **2.1 GENERALIDADES**

Ubicada en el noroeste de Michoacán, entre las coordenadas 19° 40' 32'' a 20° 20' 42'' N y 101° 52' 54'' a 102° 40' 30'' O, la cuenca del río Duero drena una superficie de 3,512 km<sup>2</sup> desde las partes altas de la sierra Purhépecha (Cherán, Paracho, Nahuatzen) hasta la confluencia del río Duero con el río Lerma en el poblado de Ibarra, municipio de Briseñas. La altitud media de la cuenca es de 2 000 msnm y forma parte del sistema hidrológico Lerma-Chapala-Santiago, región hidrológica No. 12 (RH12) y la subregión Bajo Lerma (Rodríguez-Arévalo, 2005). La corriente principal es el río Duero y las tributarias son el río Tlazazalca, el río Celio y numerosos manantiales localizados en la parte alta. La temperatura y precipitación media anual oscila de 16 °C a 22 °C y de 200 a 750 mm. La evaporación varía de 1000 a 2300 mm anuales y muestra un gradiente inverso a la precipitación y similar a la temperatura (Garduño et al., 2003). La cuenca forma parte de la Faja Volcánica Transmexicana y sus cerros se conforman regularmente por andesitas-basalto del Terciario Inferior, basalto del Terciario y Cuaternario (Silva, 1988) y sedimentos aluviales, constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas en diferentes proporciones y espesores que rellenan los valles (CONAGUA, 2002).

Es interesante observar que el 23 y 22% de la superficie de la cuenca lo ocupa la agricultura de riego y temporal, respectivamente. La selva baja caducifolia y subcaducifolia ocupa el 19%, le sigue el bosque de coníferas (11%), los pastizales inducidos y cultivados (10%), asociación de

bosque de coníferas con latifoliadas (8%), y los asentamientos urbanos ocupan el 2% del territorio (Méndez-Toribio y Zermeño-Hernández, 2005), por lo tanto, persiste una proporción importante del territorio de la cuenca en condiciones de filtrar agua y recargar los acuíferos subterráneos.

La cuenca del río Duero se considera superavitaria en su disponibilidad hídrica. La precipitación anual de 725 a 1200 mm genera un escurrimiento medio anual de 380 hm<sup>3</sup> (estación de aforo Las Adjuntas, periodo 1976-2010) y una recarga anual al acuífero de 436 hm<sup>3</sup> (Armas, 2010). El acuífero presenta una gran estabilidad después de 53 años de explotación. Los suelos agrícolas son fértiles y predominan los de tipo vertisol, La cuenca cuenta con infraestructura de riego importante que sostiene una agricultura intensiva y rentable; ésta se basa en cultivos de exportación que utilizan tecnologías modernas de alto costo y elevado consumo energético.

La CONAGUA delimita al Duero como una subcuenca de la cuenca Lerma-Chapala y sus límites los marca en la divisoria del río Duero a la altura del poblado de La Estanzuela, municipio de Ixlán. Sin embargo, el río Duero continúa su descenso varios kilómetros más debajo de esta población, hasta la confluencia con el río Lerma en las proximidades del poblado de Ibarra, municipio de Briseñas. Por esta razón, la superficie de la zona que se maneja en este trabajo es mayor a la que marca CONAGUA.

Desde esta perspectiva la cuenca del río Duero comprende 24 municipios, de los cuales ocho la integran totalmente (Chavinda, Chilchota, Ixtlán, Jacona, Purépero, Tangancicuaro, Tlazazalca y Zamora) y 16 de forma parcial (Briseñas, Vista Hermosa, Cherán, Churintzio, Ecuandureo, Los Reyes, Santiago Tangamandapio, Pajacuarán, Paracho, Charapan, Nahuatzen, Penjamillo, Tanhuato, Venustiano Carranza, Villamar, Vista Hermosa, y Zacapu). Los principales centros de población son: Zamora (141,627 hab.), Jacona (56,934 hab.), Tangancicuaro (15,068 hab.), Santiago Tangamandapio (10,463 hab.) y Vista Hermosa (10,752 hab.).

## **2.2 DIVISIÓN DEL TERRITORIO EN SUBCUENCAS**

Considerando diferencias físico-geográficas y socioeconómicas en la cuenca del río Duero, se fundamenta la división del territorio en cuatro terrazas o subcuencas: Cañada de Los Once Pueblos, valle de Tangancicuaro, valle de Zamora-Jacona y Ciénega de Chapala (Velázquez, 2005), división que consideramos útil en la propuesta de modelo organizativo para el funcionamiento eficaz de la GIRH y el manejo integral de la cuenca.

### **2.2.1 Subcuenca Cañada de los Once Pueblos**

Conforma la parte sur de la sub-cuenca del río Duero y forma un estrecho cañón de 2 000 a 1 790 msnm. En esta subcuenca nace el río Duero, en las inmediaciones del poblado de Carapan, municipio de Chilchota. En la zona se localizan importantes manantiales y entre ellos destacan los de Carapan, Zopoco, Tanaquillo y Chilchota (Sánchez, 2005); la alta precipitación en la zona y la elevada densidad de fallas y fracturas, así como los suelos porosos derivados de cenizas volcánicas propician alta infiltración hídrica que alimentan al río. En las márgenes del río se forman terrazas

aluviales que son aprovechadas para cultivos hortofrutícolas y ornamentales por los pobladores de Acachuén, Carapan, Chilchota, Huáncito, Ichán, Tacuro, Tanaquillo, Santo Tomás, Urén y Zopoco. Esta subcuenca muestra las mayores afectaciones de erosión de suelos a causa de la intensa deforestación del bosque de coníferas de los cerros que la rodean. Los suelos de esta zona son de textura ligera (francos o limo-arenosos) y susceptibles a la erosión tanto hídrica como eólica. Los drenajes de las poblaciones (37 l/s) son dirigidos al río donde contaminan sus aguas, especialmente con coliformes fecales y detergentes. Sin embargo, los manantiales que se ubican en el área aportan importantes flujos de agua al río y causan la dilución de los contaminantes presentes en las aguas residuales que se vierten al cauce. Sumado a esto, la baja cantidad de habitantes (36,298 en total; INEGI, 2010), hace que las aportaciones de aguas residuales sea la menor de la cuenca y genere los menores niveles de contaminación. En la zona se han realizado intentos de sanear las aguas residuales, como el caso de la instalación de un tanque anaeróbico en Carapan; sin embargo, el sistema fue abandonado al poco tiempo al no contar con recursos para su mantenimiento.

La zona es habitada por grupos indígenas Purhépechas con una histórica tradición de organización comunal y conocimiento tradicional que sostienen figuras organizativas importantes para el funcionamiento de la gestión del agua (representante de bienes comunales, encargados del orden, comités de agua potable).

### **2.2.2 Subcuenca valle de Guadalupe-Tangancícuaro**

Siguiendo el trayecto del río Duero, al salir éste de la Cañada de los Once Pueblos, en las cercanías del poblado de Etúcuaro, se ingresa a la planicie denominada valle de Guadalupe-Tangancícuaro. Es una importante zona agrícola donde se explotan intensivamente cultivos de alta rentabilidad como fresa, zarzamora y arándano, además de hortalizas como el brócoli, tomate y chile. Cuenta con agua de buena calidad agrícola debido a que al río Duero se incorporan los flujos de los manantiales de Los Nogales, Etúcuaro, valle de Guadalupe y Tangancícuaro. En esta zona, el río Duero recoge las descargas de aguas residuales de las poblaciones de los municipios de Purépero, Tlazalca y Tangancícuaro (37,936 habitantes; INEGI, 2010). En la zona se generan unos 110 l/s de agua residual proveniente principalmente de los drenajes urbanos y los principales contaminantes son coliformes fecales, detergentes y sales solubles. Aunque no se cuenta actualmente con una cuantificación de la contaminación por agroquímicos, el uso intensivo que se hace de ellos hace suponer que son una fuente importante de contaminantes en el agua superficial y muy posiblemente también en el agua subterránea debido a las características edafológicas y geológicas de la zona (suelos porosos, de textura franca; presencia de fallas y fracturas).

Las organizaciones relacionadas con el agua de riego son el Ejido y las Unidades de Riego. En el caso del agua potable, se encuentra el Organismo Operador de Agua Potable y los Comités de Agua Potable de las comunidades rurales. La organización de ejidatarios maneja el agua derivada del río Duero para riego y la mitad de los caudales del manantial Cupátziro, así como los flujos de la temporada de lluvias que se derivan de las barrancas. Las Unidades de Riego se constituyen alrededor de los pozos profundos cuyos flujos son utilizados para riego agrícola.

### **2.2.3 Subcuenca valle de Zamora-Jacona**



Con dirección al flujo del río, se entra a la tercera terraza después de pasar por el encañonamiento del río agua abajo del poblado El Platanal, municipio de Jacona. Los suelos son de tipo vertisol donde se cultivan de forma intensiva hortalizas y frutillas, además de granos.

El río recibe las aguas residuales de una población aproximada de 270,000 habitantes de los municipios de Zamora, Jacona, Chavinda y Santiago Tangamandapio (INEGI, 2010) convirtiendo esta terraza en la zona más contaminada de la cuenca. Se cuenta con una planta de tratamiento en la ciudad de Zamora que trata 0.33 m<sup>3</sup>/s, aunque en la cuenca se generan 0.8 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales. Los niveles de contaminantes son altos, especialmente los microbiológicos (coliformes fecales, *E. coli*) tanto en el río como en los canales de riego. Para el manejo de las fuentes de agua potable intervienen instituciones como los Organismos operadores de Agua Potable y Alcantarillado (OAPAS) y Comités de Agua Potable comunitarios y autogestivos; los primeros en las cabecera municipales y los segundos en las comunidades rurales. Las instituciones relacionadas con el agua de riego son el Distrito de Riego 061, dividido en cuatro Módulos de Riego. En las comunidades, los asuntos relativos al agua de riego son atendidos por los comisariados ejidales, autoridades electas en asambleas de ejidatarios.

#### **2.2.4 Subcuenca Ciénega de Chapala**

Es la parte más baja de la cuenca y colinda con el Lago de Chapala. Antes del desecamiento del lago, el área se inundaba en temporada de lluvias funcionando como zona cenagosa. Con la construcción de un (bordo de Maltaraña) en la época porfiniana, cerca de 60,000 ha se aislaron del Lago y se utilizaron para cultivo de granos, principalmente. Es una planicie con pendiente ligera (1564 a 1528 msnm en Ixtlán y Briseñas, respectivamente). Los suelos agrícolas presentan problemas de acumulación de salinidad, sodicidad y alto pH.

En la zona se vierten las aguas residuales de unos 45, 000 habitantes de los municipios de Ixtlan, Vista Hermosa, Briseñas y Pajacuaran y se reciben las aguas contaminadas provenientes de la parte alta de la cuenca. En términos agrícolas, es una zona granera aunque en años recientes se ha impulsado la perforación de pozos profundos para el riego de cultivos de mayor valor económico como la fresa, la zarzamora y las hortalizas.

### **3 INSTITUCIONES/ORGANIZACIONES RELACIONADAS CON EL MANEJO DEL AGUA EN LA CUENCA**

En las comunidades y pueblos existen figuras organizativas y autoridades cuyas funciones se relacionan con el manejo del agua tanto para uso y consumo humano como de riego: representantes de bienes comunales en las comunidades indígenas de la Cañada de los Once Pueblos; Comisariados Ejidales, Jefes de Tenencia y Encargados del Orden; Comités de Agua Potable y Unidades de Riego.

Otras figuras asociativas como los Organismos Operados de Agua Potable y Alcantarillado (OOAPA), principalmente en las cabeceras municipales. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), a través del Distrito de Riego 061 y 024, el Consejo de Cuenca Lerma-Chapala y la Comisión de Cuenca del río Duero, intervienen en la gestión y administración del agua superficial y subterránea en la zona, conformando una intrincada red social, cuyos límites de actuación son flexibles y poco precisos.

### **3.1 COMUNIDADES INDIGENAS**

Los pueblos indígenas de la cañada de los once pueblos están situados en los márgenes del río y tiene derechos históricos a las aguas de los manantiales. Sus representantes de bienes comunales atienden problemas de disputas por la tierra, problemas de linderos y manejo comunitario de manantiales y son elegidos en Asambleas generales de comuneros (Carpio-Penagos, 1995; Franco-Mendoza, 1997). Sobre esta base social comunitaria y de conocimiento tradicional, existe entre esos pueblos la demanda de respeto a las normas consuetudinarias o costumbres jurídicas de los indígenas, y que se reconozca su capacidad para evolucionar e incorporar nuevos aspectos de la vida social, entre ellos el manejo autogestivo del agua y del territorio como elementos de apoyo para el manejo integrado de la cuenca de los recursos hídricos.

### **3.2 EJIDOS**

Su modo de vida depende del abasto de agua de riego superficial, en mayor proporción. Han padecido directamente los efectos de la escasez y contaminación de las aguas del río Duero. Una de las grandes movilizaciones de agricultores ocurrió en los años 80's del pasado siglo, ante la prohibición oficial de usar agua contaminada en el riego de hortalizas y frutillas en el marco de brotes de cólera. Ante esas movilizaciones, una de las respuestas de las autoridades fue instalar una planta de tratamiento de aguas residuales (lagunas de estabilización) en la ciudad de Zamora y el impulso a la perforación de pozos para riego de hortalizas y frutillas de alto valor comercial, reforzado con medidas de inocuidad; con esas acciones se inició un fuerte proceso de exclusión comercial internacional para aquellos agricultores que no han podido acceder a estas fuentes de agua subterránea. Aún con esos problemas, los ejidos siguen siendo la figura organizativa funcional para resolver problemas de contaminación, escasez de agua y mantenimiento de infraestructura hidráulica vital para el manejo de la cuenca.

### **3.3 UNIDADES DE RIEGO**

Conformadas formalmente por grupos de usuarios de pozos profundos o manantiales. Constituyen pequeñas organizaciones autogestivas, distribuidas prácticamente a lo largo y ancho de la cuenca; son actores importantes en el manejo de aguas subterráneas.

### **3.4 COMITÉS DE AGUA POTABLE COMUNITARIOS**

Son organizaciones comunitarias autogestivas que se encuentran tanto en las comunidades indígenas como en las consideradas mestizas, con importante tradición organizativa y conocimiento

local que hacen funcionar los sistemas de abasto de agua para uso doméstico. Tienen una estructura social simple y de bajo costo, además de capacidad de autofinanciamiento (Pimentel et al., 2011).

### **3.5 MUNICIPIOS/OAPAS**

Organismos burocráticos que atienden prácticamente las redes de abasto de agua para las ciudades, con problemas de abasto y financiamiento, algunos de ellos dependientes en gran medida de los presidentes municipales para su operación.

### **3.6 COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA**

#### **3.6.1 Distrito de Riego 061**

Siguen siendo estructuras burocráticas poco permeables y escasamente receptivas a los problemas sociales y de manejo comunitario del agua. No manejan el criterio de cuenca, porque ese no es su mandato, pero manejan la infraestructura principal en parte importante de la cuenca y por lo tanto son actores centrales en la gestión del agua.

##### **3.6.1.1 Módulos de Riego**

Los cuatro módulos fueron conformados por mandatos de Estado. Aunque sus autoridades son usuarios del agua, su participación es limitada en la solución de añejos problemas de distribución del agua de riego, como lo evidencia la escasez periódica del líquido en algunas áreas de riego (Noreste y norte del valle de Zamora). Su actuación para gestionar la solución a la contaminación del agua de riego también se ha visto limitada, sin embargo son los que están a cargo directamente de la distribución del agua y del mantenimiento de parte de la infraestructura de riego por lo cual son actores importantes en la cuenca.

#### **3.6.2 Consejo de Cuenca Lerma-Chapala**

Al enmarcarse en la denominada “Cuenca Lerma-Chapala”, el manejo institucional de la cuenca del río Duero está supeditado a los acuerdos Marco de distribución de agua en la cuenca Lerma-Chapala; en ellos, se establece como prioridades derivar los excedentes de los ríos tributarios hacia el Lago de Chapala. Se restringe también la realización de obras de captación y almacenamiento de agua de lluvia, aunque con excepciones en temporadas de sequía.

##### **3.6.2.1 Comisión de Cuenca del río Duero**

El diseño inicial de esta estructura buscaba incorporar a los diversos actores sociales en un foro de discusión, análisis y propuestas sobre la problemática hídrica en la zona. Formalmente, integran esta Comisión los presidentes municipales y representantes de usuarios del agua (industriales, agricultores,). Sin embargo, su elección no fue resultado de consensos derivados de asambleas de usuarios; las reuniones son agendadas por las autoridades de CONAGUA y a la fecha no se ha

logrado plasmar las propuestas en un Plan de Trabajo para resolver el principal problema hídrico en la cuenca, que es el saneamiento del río Duero mediante el tratamiento de las aguas residuales.

#### 4. LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA PROPUESTA

La participación de los ejidos y las comunidades es fundamental en la toma de decisiones sobre el manejo del agua en la cuenca. Estas organizaciones tienen conocimiento pormenorizado de la conformación y funcionamiento del territorio a partir de actividad agrícola y social permanente y de compartir infraestructura hidráulica, es decir, manejar recursos comunes.

La relación entre aguas arriba/aguas abajo debe fincarse en el fomento de la solidaridad hidráulica, con una base de apoyo comunitario. En los pueblos y comunidades de la cuenca existen organizaciones para el manejo autogestivo de los recursos comunes, como el caso de los crecienteros de Tangancicuaro (Pimentel et al., 2011), las cajas de agua (Velázquez y Pimentel, 2002), los comités de agua potable (Pimentel et al., 2012), además de ejidos y representantes de las comunidades. Se requiere el fomento y apoyo a estas organizaciones, con un marco jurídico y legal adecuado a sus necesidades. Se requiere incluirlos plenamente en la toma de decisiones y financiamiento para sus acciones. Como mencionan algunos autores (Peña et al., 2012), la estructura organizativa de los usuarios debe permitir tratar problemas que afecten al río en su totalidad (contaminación, sequías, inundaciones, interacción aguas superficiales-aguas subterráneas, obras de regulación).

La propuesta se compone de 6 partes fundamentales:

- A) División del territorio en subcuencas. Las subcuencas tienen la ventaja de mayor homogeneidad biofísica, social y cultural, que puede facilitar el manejo hidráulico y agroecológico y los consensos sociales necesarios para aplicar acciones de manejo de la cuenca.
- B) Elección de representantes por subcuenca, con representación avalada en asambleas comunitarias y con reconocimiento para ser incorporados al Comité de cuenca del río Duero.
- C) Plan de saneamiento por subcuencas. En cada subcuenca debe haber un pequeño plan rector con objetivos y metas sencillas y claras que permitan medir los avances. El plan rector deberá incluir, entre otros aspectos: la construcción de infraestructura de saneamiento en las comunidades rurales; operación y mantenimiento de la infraestructura; limpieza permanente del cauce; reforestación de la ribera; monitoreo sistemático de la calidad del agua; aplicación de impuestos para el saneamiento; protección de manantiales; protección de lagos; medición y protección del acuífero; evaluación de impactos del crecimiento urbano; identificación y registro de los bombeos; conservación de suelos para reducir erosión; conservación de tierras agrícolas para recarga del acuífero.
- D) Reglamentación de acciones. Cada subcuenca debe contar con un reglamento mínimo de su manejo integral, que a su vez sea parte del reglamento de la cuenca. Se trata de reglamentar el manejo del territorio privilegiando la sustentabilidad hídrica.

- E) Vigilancia y monitoreo. Recuperar la figura de policía hidráulica y vigilante o inspector territorial y del medio ambiente, con tareas específicas de vigilancia en canales de riego y drenaje para identificar y denunciar focos de contaminación en los cuerpos de agua. Rescatar las figuras de comités comunitarios para vigilancia de acciones en la cuenca.
- F) Red de apoyo técnico y científico para el monitoreo de la calidad del agua. Conformar cuerpos de apoyo técnico por subcuenca (instituciones educativas). Cada subcuenca debe contar con un corpus o staff técnico mínimo, que realice diagnósticos y mediciones sistemáticas en parámetros básicos.

## 5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero brindado por El Colegio de Postgraduados y el Instituto Politécnico Nacional.

## 6 REFERENCIAS

Armas, V.F. 2010. Modelación y simulación hidrodinámica del sistema acuífero Zamora en Michoacán, México. Tesis Maestría. UNAM. 114 p.

Carpio-Penagos, C.U. 1995. Cañada de los Once Pueblos, Michoacán. Cambios y continuidades en una región interétnica de México. Tesis de Maestría en Antropología Social. El Colegio de Michoacán, A.C. 120 p.

CONAGUA (2002). Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Zamora, Estado de Michoacán. Comisión Nacional del Agua. Documento Interno. México, D.F. 25 p.

Cotler, H. y Priego, A. 2004, El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma Chapala (p.72). *En*: Cotler, E.(compiladora): El Manejo Integrado de Cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. INE-SEMARNAT. pp. 63-74.

Dourojeanni, A. 2012. Cara circular #37. Red de Cooperación en la gestión integral de los recursos hídricos para el Desarrollo sustentable en América Latina y El Caribe. CEPAL-ONU. 8 p.

Franco-Mendóza, M. 1997. La ley y la costumbre en la Cañada de los Once Pueblos. El Colegio de Michoacán, A.C. 110 p.

Garduño V., H., P. Corona A., e I. Israde V. 2003. Geología. *In*: Atlas Geográfico del Estado de Michoacán. EDDISA 2ª edición. Secretaría de Educación del Estado de Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 300 p.

González, P.J.I. 2004. El manejo de cuenca en Cuba: actualidades y retos. *En*: Cotler, E.(compiladora): El Manejo Integrado de Cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. INE-SEMARNAT. pp.21-40.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Censo de población y vivienda 2010. [en línea] . Consultado el 14 de abril del 2013.  
<http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp?p=17118&c=27769&s=est>

Maas, J.M. 2004. Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: un análisis del problema de escala. *En: Cotler, E.(compiladora): El Manejo Integrado de Cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. INE-SEMARNAT. pp. 49-62.*

Méndez-Toribio, M. y Zermeño-Hernández, I. 2005. Caracterización ecológica de la cuenca del río Duero. *En: Velázquez, M. 2005 (coord.). Diagnóstico para el saneamiento del río Duero. Consejo Estatal de la Fresa de Michoacán, A.C.–SAGARPA-Colegio de Postgraduados-El Colegio de Michoacán, A.C. pp. 1-46.*

Palacios-Vélez, E. y López- López, C. 2004, La sobreexplotación de las cuencas hidrológicas: el caso de la cuenca del río de La Laja Guanajuato. *En: Cotler, E.(compiladora): El Manejo Integrado de Cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental INE-SEMARNAT. pp.117-134.*

Peña, H.; Ahumada, G.; Berroeta, C.; Brown, E.; Carvallo, J.; Contreras, M.; Espíldora, B.; Gómez, R. y Muñoz, J.F.. 2012. Hacia una gestión integrada de los recursos hídricos. Una propuesta. Comisión de Aguas-Instituto de Ingenieros de Chile. 44 p. (en línea, consultado el 26 de abril del 2013). <http://www.eclac.cl/dmni/noticias/noticias/8/48468/InformePol%C3%ADticasAguasGIRH-CICh.pdf>

Pimentel-Equihua, J.L., Velázquez-Machuca, M.A. y Palerm-Viqueira, J. 2011. Enlamado y organización social: Los crecienteros de Tangancicuaro. *Terra Latinoamericana 29:333-341.*

Pimentel, J.L.; Velázquez, M. y J. Palerm. 2012. Capacidades locales y de gestión social para el abasto de agua doméstica en comunidades rurales del valle de Zamora, Michoacán, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo. 9(2):107-121.*

Rodríguez-Arévalo, G. 2005. Estudio integral de la calidad del agua en la cuenca del Río Duero. Tesis de Maestría. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 108 p.

Sánchez, R.M. 2005. Los recursos hídricos en la cuenca del río Duero. *En: Velázquez, M. 2005 (coord.). Diagnóstico para el saneamiento del río Duero. Consejo Estatal de la Fresa de Michoacán, A.C.–SAGARPA-Colegio de Postgraduados-El Colegio de Michoacán, A.C. pp. 50-70.*

Silva, M. L.1988. Algunos aspectos de los basaltos y andesitas cuaternarios de Michoacán oriental. *Rev. Mex. Cienc. Geol. 7, 89-96.*

Velázquez, M., Pimentel, J. y Palerm, J. 2002. Entarquinamiento en cajas de agua en el valle zamorano: una visión agronómica. *En: Sánchez, R.M. (Ed). Entre campos de esmeralda: la agricultura de riego en Michoacán. pp. 261-273. El Colegio de Michoacán-Gobierno del Estado de Michoacán, México.*

Velázquez, M. 2005 (coord.). Diagnóstico para el saneamiento del río Duero. Consejo Estatal de la Fresa de Michoacán, A.C.–SAGARPA-Colegio de Postgraduados-El Colegio de Michoacán, A.C. 208 p.

# ANÁLISIS, SELECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE CUENCAS MEXICANAS PARA SU INTEGRACIÓN A PROGRAMAS INTERNACIONALES DE GESTIÓN DEL AGUA

Nahún Hamed GARCÍA VILLANUEVA<sup>a</sup>, y Leonardo HERNÁNDEZ BARRIOS<sup>B</sup>

<sup>a</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso. Jiutepec.Mor.  
email: [nahung@tlaloc.imta.mx](mailto:nahung@tlaloc.imta.mx)

<sup>b</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

## RESUMEN

Con el fin de contribuir a la difusión del conocimiento, se presenta el resumen de un minucioso ejercicio de identificación y selección de 11 cuencas mexicanas para su incorporación al programa HELP (Hidrology for the Environment, Life and Policy).

El programa HELP es un programa transversal que interactúa con el Programa Hidrológico Internacional (PHI) y cuyo objetivo es establecer una red global de cuencas para mejorar las ligas entre la hidrología y las necesidades de la sociedad, el manejo del agua, su integración y gestión.

Las cuencas analizadas y propuestas para integrarse a este programa corresponden a las comisiones de cuenca: Río Colorado, Río Concepción, Río Sonora, San Pedro, Río Mátape, Río Turbio, Lago de Cuitzeo, Laguna de Zapotlán, Del Río Calderón, Ayuquila-Armería y la cuenca Península de Yucatán.

A partir de fuentes oficiales, se recopilaron, integraron, ordenaron y procesaron un conjunto de datos básicos del sector agua y medio ambiente, para que cada una de las 11 cuencas propuestas cumpliera con los requisitos e indicadores internacionales para la gestión integral de cuencas, de tal manera que puedan integrarse al programa HELP.

La información requerida para cada una de las cuencas es la siguiente: descripción general de la cuenca, propiedades geográficas, características demográficas, usos del suelo, recursos hídricos y sus usos, además de las características ambientales. A partir de esta información se estableció un diagnóstico integral de la cuenca, lo que permitió identificar los problemas y retos por resolver. Otros requisitos que complementan cada una de las propuestas se refieren a la organización de la cuenca y a las instituciones responsables en la gestión integrada de los recursos hídricos, así como los objetivos y la metodología establecida para alcanzar resultados esperados, mismos que deben ser congruentes con las políticas establecidas en el programa internacional.

A partir de esta propuesta se espera fortalecer el número de cuencas mexicanas inscritas al programa internacional, de tal manera que se logren desarrollar beneficios sociales, económicos y ambientales a través de investigar el uso apropiado y sustentable del agua, mediante la ciencia hidrológica en apoyo al mejoramiento de la gestión integrada de cuencas.

**Palabras clave:** Cuenca, HELP, Río Colorado, Río Concepción, Río Sonora, San Pedro, Río Mátape, Río Turbio, Lago de Cuitzeo, Laguna de Zapotlán, Río Calderón, Ayuquila-Armería, Península de Yucatán.

## **1 INTRODUCCIÓN**

El programa HELP (Hydrology for the Environment Life and Policy) para el manejo de los recursos hídricos fue lanzado a través del establecimiento de una fase piloto compuesta por 25 cuencas distribuidas alrededor del mundo. El comité de evaluación internacional (ISC) del programa HELP se reunió en mayo del 2003 en Bonn Alemania y consideró en dicha ocasión que el programa se encontraba listo para iniciar la fase de “plena implementación” es decir, proceder a la extensión de la red global.

A medida que la iniciativa del programa HELP fue progresado con el establecimiento de una red de cuencas, se logró fortalecer las relaciones entre la hidrología y las necesidades de la sociedad, por lo que fue necesario pensar como expandir esta red alrededor del mundo y establecer un programa de trabajo para incorporar más cuencas al programa. Existe una guía para la incorporación de nuevas cuencas al programa, en donde se establecen las metas, objetivos, actividades y los resultados esperados, así como indicadores de evaluación y monitoreo para cada periodo o fase establecida en la guía.

Son cuatro las clasificaciones que se pueden otorgar a las cuencas propuestas para formar parte del programa HELP y se relacionan con los siguientes rubros: A) Cuenca HELP Propuesta, corresponde a una cuenca que necesita información adicional y que a partir de complementarla puede ser reclasificada. B) Cuenca HELP en Evolución corresponde a una cuenca en la que la información base presentada no está en operación. C) Cuenca HELP Operacional es una cuenca establecida y que se puede convertir en una cuenca de Demostración Global cuando el programa lo considere pertinente. Este tipo de cuenca ha implementado la filosofía del programa HELP, ha involucrado a los grupos de usuarios en la administración y está funcionando sustancialmente para resolver algunos de los problemas claves de manera integrada, además de demostrar una interface activa entre la ciencia, administradores de agua y sociedad. La cuenca HELP Operacional establece mecanismos sin restricciones de información, acceso e intercambio de datos, con la finalidad de continuar y facilitar el intercambio internacional de datos hidrológicos y afines, establecidos por la Organización Meteorológica Mundial. Finalmente, se tienen las cuencas D) HELP de Demostración Global, que muestran las buenas prácticas establecidas en el programa para un adecuado manejo integral de los recursos hídricos.

Desde el 2003 el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) ha trabajado en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro con la finalidad de lograr la rehabilitación ambiental de la cuenca, realizando una serie de proyectos interdisciplinarios para tal fin, actualmente la cuenca se encuentra integrada al programa HELP esperando ser reclasificada como una cuenca de Demostración Global. No obstante, es necesario proponer la incorporación de nuevas cuencas mexicanas para que se integren al programa HELP y así fortalecer el desarrollo de la gestión integral de cuencas en el país.

## **2 METODOLOGÍA**

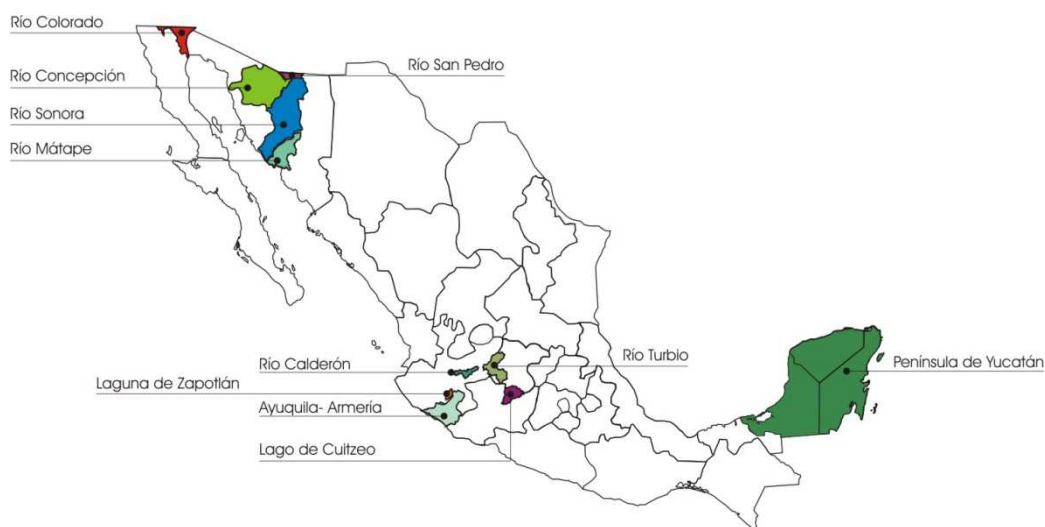
Se describe de manera secuencial las etapas requeridas en la guía del programa HELP para la integración de la información y la incorporación de nuevas cuencas al programa.



Las cuencas propuestas corresponden a las siguientes Comisiones de Cuenca: Río Colorado, Río Concepción, Río Sonora, San Pedro, Río Mátape, Río Turbio, Lago de Cuitzeo, Laguna de Zapotlán, Del Río Calderón y Ayuquila-Armería, además de la cuenca Península de Yucatán.

Se determinó proponer las Comisiones de Cuenca porque además de ser órganos auxiliares a los Consejos de Cuenca, se atienden problemáticas muy específicas en materia de recursos hidrológicos en zonas muy localizadas del país. La cuenca Península de Yucatán, no es una comisión de cuenca, sin embargo, debido a la importancia y crecimiento urbano de la población y de los impactos ambientales que se presentan en la región se determinó incluirla en la propuesta.

La ubicación de las once cuencas propuestas al programa HELP se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Cuencas propuestas al Programa HELP.

La información requerida para integrar las nuevas cuencas mexicanas al programa HELP deberá realizarse conforme a los formatos establecidos en la guía del programa, que consiste en cinco partes y que son las siguientes: Parte I. Detalle de la información de la organización proponente y de la cuenca; Parte II. Situación de los temas, objetivos y resultados esperados; Parte III. Descripción de las actividades de la propuesta; Parte IV. Descripción de los compromisos y Parte V. Contribución para promover los valores del programa HELP.

La información solicitada en la Parte I, relacionada a la organización proponente es la siguiente: resumen de la cuenca; nombre o nombres de las personas que elaboraron la propuesta; nombre de los organismos proponentes y de las organizaciones e instituciones responsables de la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca. En lo que se refiere a las propiedades de la cuenca se establecen siete sub-apartados. En el primero se indican las propiedades generales de la cuenca, como son: nombre de la cuenca, propiedades geográficas; topografía, geología, precipitación; ríos principales; impactos de las sequías y sistemas de información geográfica en la cuenca. El segundo apartado se refiere a las propiedades demográficas como: población total de la cuenca; población de la zona urbana y rural; ingreso per cápita; actividades económicas; producción industrial y agrícola; población que se encuentra en pobreza y parámetros que indican el índice de

pobreza en agua. El tercer apartado se refiere al uso del suelo; El cuarto a los recursos hídricos y usos en la cuenca; El quinto apartado a las propiedades ambientales; El sexto a las políticas y propiedades legislativas y el séptimo a la disponibilidad de la información en línea.

La información requerida en la Parte II de la guía se refiere al estado o situación de los temas administrativos, hidrológicos, ambientales, poblacionales, legislativos, políticos y de gestión de los recursos naturales en la cuenca, para determinar la situación de la misma. En esta parte se establecen los objetivos y resultados esperados de la cuenca propuesta, además de responder a la pregunta ¿Cómo los temas descritos en la propuesta de la cuenca se relacionan o interactúan con los temas establecidos en el programa HELP?. Los temas establecidos en el programa son los relacionados al agua y alimentos, a la calidad del agua y a la salud humana; al agua y al medio ambiente; al agua y al clima y al agua y a los conflictos por el uso y disponibilidad de la misma.

La información requerida en la Parte III se relaciona con la descripción y planificación de las actividades propuestas en los ámbitos de la hidrología, medio ambiente y sobre aquellas políticas establecidas en el manejo y gestión de la cuenca. Se especifica la participación y compromiso de los integrantes del proyecto para establecer las responsabilidades de ejecución y seguimiento de las actividades del proyecto y para elaborar mediante exhaustivos análisis los documentos finales de consulta. Se establecen las propuestas para el mejoramiento de las capacidades de los técnicos e investigadores y demás personal involucrado en el proyecto, mediante la asistencia o impartición de cursos de capacitación y formación profesional. Finalmente, se debe realizar la calendarización de las actividades propuestas para tres periodos de ejecución; a corto plazo (1 a 2 años) mediano plazo (2 a 5 años) y largo plazo (5 años o más), para concluir con un programa de monitoreo y evaluación de las actividades propuestas.

En la información requerida en la Parte IV, se indican y describen los compromisos adquiridos por las instituciones proponentes, así como los nombres de los miembros del equipo que integran la propuesta y la de los socios y usuarios auspiciadores. Éstos generalmente corresponden a los organismos e instituciones que se involucran en la propuesta, y se deberá indicar el origen de los recursos que utilizan para realizar la gestión de los recursos hídricos.

En la información requerida en la Parte V, se establecen las contribuciones de la cuenca para promover los valores del programa HELP y se especificará si los resultados de otras cuencas del programa (que han desarrollado proyectos de transferencia de tecnología o capacitación) pueden ser utilizados en la cuenca propuesta para lograr los objetivos establecidos. Finalmente, será necesario proporcionar los datos de los responsables directos e indirectos del proyecto (correo electrónico y postal), así como indicar los dominios o direcciones de las páginas web de los organismos involucrados en la propuesta.

Las cuencas propuestas pueden enviarse para su incorporación al programa HELP en idioma español, sin embargo, la versión definitiva deberá estar escrita en idioma inglés. Se recomienda revisar el sitio Web de HELP (<http://www.unesco.org/water/ihp/help>).

### **3 RESULTADOS**

Después de realizar el análisis de la información de cada una de las once cuencas propuestas, algunos de los requisitos establecidos en la guía del programa HELP resultaron de carácter general,

siendo algunos de éstos los siguientes: Las políticas y propiedades legislativas de las cuencas en México se establecen en la Ley de Aguas Nacionales que indican que la Comisión Nacional del Agua es la autoridad en la materia y la gestión integrada de los recursos hídricos. En cuanto a la disponibilidad de la información relacionada con las cuencas, existen imágenes de satélite en todo del país que podrían utilizarse para su estudio. La mayor parte de la información requerida es generada por las instituciones oficiales de los tres niveles de gobierno y generalmente se encuentran disponibles en reportes o informes técnicos o bien en las páginas web de estos organismos.

En la guía del programa se requiere especificar el origen de los recursos para la gestión de los recursos hídricos. En México, los recursos provienen generalmente del gobierno federal a través de la Comisión Nacional del Agua, con la participación de los gobiernos estatales y municipales por medio de los programas federalizados que en materia de agua y medio ambiente se tienen en el país.

En todas las cuencas propuestas existe la disponibilidad de utilizar las herramientas informáticas empleadas en otras cuencas del mundo que se han incorporado al programa HELP. En el país, aunque se cuenta con experiencia en el manejo de cuencas, siempre será necesario complementar el conocimiento con herramientas informáticas que optimizan la gestión de los recursos hídricos, como son los sistemas de información geográfica, los modelos de simulación y optimización de los recursos hídricos y los modelos económicos. Las experiencias en el uso de estas herramientas, metodologías y acciones podrían ser implementadas a través de la red HELP en las cuencas propuestas.

Cada una de las cuencas propuestas presenta diversos problemas ambientales, y por lo tanto diferentes programas y actividades para mejorar las condiciones actuales de la cuenca. Por lo que la calendarización de estas actividades estará en función del grado de deterioro de la cuenca o de los problemas ambientales que se presentan.

Con relación a la información de la organización proponente y al responsable del proyecto, se puede proponer, por ejemplo, al Director General del Organismo de Cuenca en donde se encuentra la cuenca propuesta. Se debe indicar la dirección postal y correo electrónico del proponente, así como el dominio de la organización o página web del proponente. Sin embargo, existen otros organismos federales, estatales y municipales que pueden ser responsables de la propuesta.

Finalmente, y como resultado de un detallado análisis y recopilación de la información, se presentan las características y situación de cada una de las once cuencas propuestas. Aunque se han elaborado las propuestas en extenso (en donde se indica la problemática de la cuenca y sus propuestas para mejorar la gestión de los recursos hídricos) en este artículo, solamente se muestra a manera de resumen, la situación general de la cuenca conforme a lo requerido en la guía del programa HELP.

*La cuenca del Río Colorado* tiene un área de 4,880 km<sup>2</sup>; la topografía es regular con pendientes suaves y una precipitación de 106 mm/año. El río principal es el Río Colorado. Es frecuente que se presenten sequías extremas a severas. La población es de 764,025 habitantes y para el 2030 se prevé un incremento del 48%. La densidad de población es de 36 hab/km<sup>2</sup>. El grado de marginación y rezago social es muy bajo. Las viviendas que no disponen de agua entubada y drenaje es del 6.6 % y 9.2%. La superficie de riego es de 280,242 ha, el 97% es bajo riego. El uso del suelo es 11% agrícola, 2% bosque y 67% matorral xerófilo. Los acuíferos se encuentran sobreexplotados. El volumen de agua es de 2,100 m<sup>3</sup>/habitante/año. El volumen total en la cuenca es de 2,937 hm<sup>3</sup>, de

los cuales el 81% es para uso agropecuario, 7% termoeléctrico, 5% abastecimiento urbano, 4% hidroeléctrico y 3% industrial. El déficit del agua es muy fuerte. Las plantas de tratamiento en conjunto tratan 1,821 m<sup>3</sup>/s. El mayor problema ambiental es la salinización del acuífero y la degradación de los suelos en la parte alta de la cuenca y en la zona agropecuaria la contaminación por agroquímicos, además de las descargas industriales y urbanas hacia el río.

*La cuenca del Río Concepción* tiene un área de 25,807 km<sup>2</sup>. La topografía es variable, con una precipitación de 403 mm/año. El río principal es Río Concepción con una trayectoria de 132 km y un caudal medio de 1.19 m<sup>3</sup>/s. Se presentan sequías ligeras a extremas. La población es de 386,137 habitantes y para el 2030 se prevé un incremento del 16%. La densidad es 7 hab/km<sup>2</sup>. Las principales ciudades son Nogales (parcialmente), Caborca y Magdalena de Kino. El ingreso promedio per cápita es de \$11,060 dólares. La principal actividad es la agricultura cultivándose vid, trigo y algodón. El grado de marginación es medio a muy bajo. La cobertura de agua potable y alcantarillado es del 85% y 79%. El uso del suelo es 69% matorral xerófilo, 13.3% pastizal, 8.3% vegetación secundaria, 3.6% bosque, 3.3% agrícola y 2.0% otros tipos de vegetación. El 99% de la superficie agrícola es de riego. El acuífero de Caborca se encuentra sobreexplotado y presenta intrusión salina y un abatimiento anual de 1.25 m ocasionando baja rentabilidad en el DR.037. La principal presa es Cuauhtémoc (50 hm<sup>3</sup>). El volumen de agua concesionada es de 446 m<sup>3</sup>/hab/año. El volumen del agua por sector es 86.9% agropecuario, 7.3% abastecimiento público y 5.8% industrial. El déficit de agua es muy fuerte mayor al 90%. El promedio de agua superficial es de 127 Mm<sup>3</sup>/año y de agua subterránea 257 Mm<sup>3</sup>/año. El gasto máximo promedio es de 1,155 m<sup>3</sup>/s. Se cuentan con estaciones climatológicas, hidrométricas y de calidad del agua.

*La cuenca del Río Sonora* tiene un área de 28,950 km<sup>2</sup> con una topografía accidentada. La precipitación es de 455.3 mm/año. El río más importante es el río Sonora con una longitud de 420 km. Se presentan sequías moderadas a severas. La población es de 984,754 habitantes, el 97% vive en zonas urbanas. Las ciudades más importantes son Hermosillo, Guaymas y Cananea. Se prevé un incremento del 27% en 2030. La densidad es de 15 hab/km<sup>2</sup>.

El ingreso per cápita es de \$17,978 dólares. El grado de marginación y rezago social es bajo a muy bajo. El uso del suelo es 52% matorral, 13 % pastizal, 11% vegetación secundaria, 6% bosque, 4.6% agrícola y 13.4% otros tipos de vegetación. El 95% de la agricultura es bajo riego. En la cuenca se encuentra el distrito de riego 051 Costa de Hermosillo con 50,000 ha. El acuífero no está sobreexplotado, sin embargo se presenta un abatimiento de 1.0 m/año, que ocasiona intrusión salina. Se presentan bajas eficiencias en los usos consuntivos y en los sistemas de agua potable. Se tienen dos presas con capacidad de 40 y 2.52 hm<sup>3</sup>. El volumen per cápita de agua en Hermosillo es 1,600 m<sup>3</sup>/ hab/año. La cobertura de agua potable y alcantarillado se encuentra entre el 50% y 80%. Los usos del agua por sector son: 64% agropecuario, 34% urbano y 2% industrial. El déficit de agua es muy fuerte, mayor al 90%. Se cuenta con dos estaciones hidrométricas, dos de calidad del agua y diecinueve pequeñas plantas de tratamiento.

*La cuenca del Río San Pedro* se ubica en Sonora entre México y USA, con un área de 1,833 km<sup>2</sup> en territorio mexicano. La altitud promedio es 1,300 a 2,500 msnm. El río principal es San Pedro, la precipitación es de 420.2 mm/año. Se presentan sequías moderadas a severas. La población es de 233,470 habitantes, el 96% vive en zonas urbanas. Las ciudades más importantes son Cananea y parcialmente Nogales. Se prevé un incremento del 36% en 2030. La densidad es de 39 hab/km<sup>2</sup>. El grado de marginación y rezago social es muy bajo. La cobertura de agua potable y alcantarillado es

del 81.2% y 90%. El uso del suelo es 48% pastizal, 22% vegetación secundaria, 17% bosque, 11% matorral y el 2% de otras superficies, entre las cuales el 0.5% es agrícola. Los acuíferos no están sobreexplotados. El volumen per cápita es de 1495 m<sup>3</sup>/hab/año. Los usos del agua por sector son: 48% agropecuario, 24% al abastecimiento y 28% industrial. El déficit de agua es muy fuerte, mayor al 90%. La disponibilidad de agua superficial es de 13.6 hm<sup>3</sup> y de agua subterránea 7.33 hm<sup>3</sup>. La extracción de agua subterránea es de 4.88 hm<sup>3</sup>. La cuenca tiene dos estaciones de monitoreo de aguas subterráneas y una de cuerpos superficiales. Se tiene un área protegida denominada Sierra de Ajos.

*La cuenca del Río Mátape* tiene un área de 9,302 km<sup>2</sup>. La altitud es variable desde el nivel del mar a los 1,300 msnm. El río más importante es el Mátape, que recorre 211.30 km desde su origen hasta el mar. El caudal medio es de 1.95 m<sup>3</sup>/s y la precipitación de 472.0 mm/año. Las sequías que se presentan son intensas y es frecuente que se presenten ciclones en el Pacífico.

La población es de 223,560 habitantes, el 95% vive en zonas urbanas. Las principales ciudades son Guaymas y Empalme. Se prevé una disminución de la población del 13% para el año 2030. La densidad es 12 hab/km<sup>2</sup>. El grado de marginación y rezago social es bajo y muy bajo. La cobertura de agua potable y alcantarillado es del 94.4% y 83.6%. El uso del suelo es 42% matorral, 28 % selva, 15% vegetación secundaria, 6% pastizal, 4.8% agrícola y 4.2% otros tipos de vegetación. El 91% de la agricultura es bajo riego. En la cuenca se localiza el Distrito de Riego 84 Guaymas con 9,342 ha.

El acuífero se encuentra sobreexplotado, con una recarga de 100 hm<sup>3</sup> y un volumen extraído de 117.42 hm<sup>3</sup>, el abatimiento es de 1.20 m/año. El promedio anual de extracción de agua superficial y subterránea es de 69 hm<sup>3</sup> y 131 hm<sup>3</sup> respectivamente. La disponibilidad del agua es de 840 m<sup>3</sup>/hab año. El uso del agua por sector es 96.78% agropecuario, 3.12 % abastecimiento urbano y 0.10 % industrial. El déficit de agua es fuerte, mayor al 90%. En la cuenca se tienen cuatro estaciones hidrométricas, ocho climatológicas, una de calidad del agua y siete plantas de tratamiento de aguas residuales. El mayor caudal registrado es de 92.13 m<sup>3</sup>/s.

*La cuenca del Río Turbio* está ubicada en el estado de Guanajuato, con una superficie 4,802 km<sup>2</sup>. La topografía de la cuenca presenta sierras, lomeríos, mesetas, llanuras y valles. El río Turbio es el más importante, le siguen los arroyos Ocotes y el Chilar. La precipitación es de 641.8 mm/año.

La población es de 1, 779,774 habitantes, el 98% de la población vive en zonas urbanas. Las ciudades principales son León y Aldama. Se prevé un incremento de la población del 26% para el 2030. La densidad es de 321 hab/km<sup>2</sup>. El grado de marginación es medio y bajo y el rezago social bajo y muy bajo. La cobertura de agua potable y alcantarillado es de 96.4% y 82.1% respectivamente.

El uso del suelo es 62% agrícola, 20 % vegetación secundaria, 10.4% pastizal, 2.0% bosque y 5% otros tipos de suelos. El 53% de la agricultura es bajo riego.

Los acuíferos en la cuenca se encuentran sobreexplotados. Los acuíferos más importantes son Valle de León, La Muralla y Río Turbio. En el acuífero de Valle de León, se presenta una pérdida neta en el almacenamiento de 112 hm<sup>3</sup> /año y se han observados abatimientos de hasta de 8 m. La disponibilidad de agua superficial es de 276 hm<sup>3</sup>/año. El volumen promedio es de 935 m<sup>3</sup>/año/hab. El uso del agua es 77.4% agrícola, 22.1% abastecimiento y 0.5 % industrial. El déficit de agua es muy fuerte, superior al 115%. Se tienen tres estaciones hidrométricas con un gasto medio de 0.28

m<sup>3</sup>/s, once estaciones climatológicas, nueve plantas de tratamiento y potabilización. Los problemas más comunes son el cambio en el uso de suelo, antropización de la cubierta vegetal y las descargas hacia el río Turbio.

*La cuenca del Cuitzeo* es de tipo endorreica, se ubica en el estado de Michoacán con un área de 3828 km<sup>2</sup>. La topografía está compuesta por colinas, lomeríos altos y planicies. Los principales ríos son Grande de Morelia y Queréndaro, que desembocan en el Lago de Cuitzeo. La precipitación es de 778.5 mm/año.

La población es de 1, 248,224 habitantes, el 67% vive en zonas urbanas. La densidad es 154 hab/km<sup>2</sup>. La ciudad más importante es Morelia. No se prevé incremento de población al 2030.

El ingreso per cápita es de 4,400 dólares. El grado de marginación y rezago social es medio. La cobertura total de agua potable y alcantarillado es de 92.29% y 83.96%. El uso del suelo es 31% bosque, 30% agrícola, 21% vegetación secundaria, 10.0% pastizal, 5.0% cuerpos de agua y 3% otros suelos. El 67% de la agricultura es riego de temporal. Se encuentra el distrito de riego 020 Morelia-Queréndaro con una superficie de 16,622 ha, de las cuales el 88% se riegan con agua superficial. El principal cuerpo de agua es el Lago de Cuitzeo. Los acuíferos se encuentran parcialmente sobreexplotados. Se encuentra la presa Cointzio con 75 hm<sup>3</sup>. El volumen per capita es variable desde los 100 hasta los 1500 m<sup>3</sup>/año/hab. Los usos del agua son: 68.8% agropecuario, 12.5% abastecimiento urbano, 6.8% hidroeléctrico, 6.15 % industrial y 5.8% termoeléctrico. El déficit de agua es fuerte, mayor al 50%.

Se cuenta con ocho estaciones de calidad del agua, diez hidrométricas y once climatológicas, además de cinco plantas de tratamiento y cuatro de potabilización. Los problemas en la cuenca son degradación de laderas, erosión, contaminación por metales pesados y disminución de la superficie del Lago.

*La cuenca Laguna de Zapotlán* es endorreica, se ubicada en el estado de Jalisco, con una superficie de 499 km<sup>2</sup>, está formada mayormente por zonas planas. La precipitación es de 963.5 mm/año.

La cuenca no tiene ríos, pero sí numerosos arroyos. El principal recursos hídrico es la Laguna de Zapotlán, los escurrimientos de la temporada de lluvias aportan un escurrimiento medio anual de 17.80 Mm<sup>3</sup>. La Laguna tiene una profundidad promedio de 4.75 m y una evaporación de 17.7 Mm<sup>3</sup>/año. Se han presentado sequías severas. La población es de 105,327 habitantes, el 97 % vive en zonas urbanas. La ciudad principal es Ciudad Guzmán. Se prevé un incremento para el año 2030 del 12%. El grado de marginación es alto a muy alto y el índice de rezago social es muy bajo. La cobertura de agua potable y alcantarillado es del 98.2 % y del 92.9 %. El uso del suelo es: 37.8% bosque, 25.4% pastizal, 24.2% vegetación secundaria y 12.6% agrícola. El 44.7% de la agricultura es de temporal.

Los acuíferos se encuentran sobreexplotados. El volumen de agua per capita es de 1,650 m<sup>3</sup>/hab año. El uso del agua es 53% agropecuario, 45% abastecimiento urbano y 2% industrial. El déficit de agua es fuerte, mayor al 40%. Las fuentes de abastecimientos son pozos y manantiales. El volumen diario de extracción es de 141 Mm<sup>3</sup>. Se cuenta con una planta de tratamiento, la eficiencia de cloración es mayor al 95%. Los problemas ambientales en la cuenca son la erosión, la pérdida de tierras de cultivo y la contaminación que genera la descarga de aguas negras a la Laguna, además de las bajas eficiencias de distribución de agua.

*La cuenca del Río Calderón* se encuentra en el estado de Jalisco con una superficie de 738.29 km<sup>2</sup>. La topografía es variable desde los 1500 a los 2600 msnm. La precipitación es de 950.94 mm/año. Los ríos principales son el Río Calderón, Paso del Lobo, Río El Aguacate y el Río Pajaritos. En la cuenca se han presentado sequías moderadas y severas.

La población es de 201,003 habitantes, las principales ciudades son Capilla de Guadalupe y Tepatlán de Morelos. Se prevé una disminución de la población del 10% para el 2030, la densidad es de 80 hab/km<sup>2</sup>. La principal actividad industrial es la tequilera y los principales cultivos son sorgo, maíz, frijol y agave. El grado de marginación y rezago social es bajo y muy bajo. La cobertura de agua potable y alcantarillado es de 84.0 % y 93.98%. El uso del suelo es: 41% vegetación secundaria, 38% agrícola, 14% pastizal, 4% selva y 3% otros tipos de suelos.

El acuífero principal tiene una superficie de 1,505 km<sup>2</sup> y no se encuentra sobreexplotado. Se tiene la presa Puente Calderón con 80 hm<sup>3</sup> que abastece a la ciudad de Guadalajara. El volumen de agua percapita es de 1,018 m<sup>3</sup>/año/hab. El volumen por sector es 43% agropecuario, 55% abastecimiento urbano y 2% industrial.

El déficit de agua es fuerte, mayor al 45%. El volumen de extracción es de 165,000 m<sup>3</sup>/día. La eficiencia de cloración es del 99%. Se tienen dos estaciones climatológicas.

*La cuenca del Río Ayuquila-Armería* tiene un área de 9,803 km<sup>2</sup>. La topografía varía desde el nivel del mar hasta los 4,260 msnm. La precipitación es de 955.54 mm/año. Los principales ríos son Armería y Coahuayana donde la contaminación de las aguas del río es el impacto más negativo en la calidad de vida de la población.

La población es de 907,628 habitantes, el 77% vive en zonas urbanas. Las principales ciudades son Manzanillo, Colima, Villa de Álvarez y Tecmán. El grado de marginación y el rezago social es bajo a muy bajo. La cobertura de agua potable y alcantarillado es de 90.2% y 89.7%. Las fuentes de contaminación son el vertido de las aguas residuales municipales e industriales, específicamente las derivadas de la actividad azucarera al río, así como también la inadecuada disposición de residuos sólidos a las orillas del mismo.

El uso del suelo es 41% vegetación secundaria, 24% bosque, 20% agrícola, 10% pastizal y 5% otros tipos de suelos. El 55% de riego es de temporal. Los acuíferos no se encuentran sobreexplotados. Se tiene la presa Trojes Solidaridad con una capacidad de almacenamiento de 294 hm<sup>3</sup>. Los cuerpos de agua más importantes son: Lago Juluapan, Lago Cuytlán y Lago Amela. La disponibilidad per cápita es 1,1580 m<sup>3</sup>/hab/año.

El uso del agua por sector es 91.7% agropecuario, 5.6% abastecimiento urbano, 2.3% industrial y 0.4% para generación de energía. El déficit de agua es fuerte, mayor al 40%. El escurrimiento es de 12.4 m<sup>3</sup>/s y la disponibilidad de agua superficial es de 2.07 hm<sup>3</sup>/año. La extracción de agua subterránea es de 744.87 hm<sup>3</sup>/año. Se cuenta con 11 estaciones hidrométricas, 17 climatológicas y 19 de calidad del agua. Además 71 pequeñas plantas de tratamiento y 91 pequeñas potabilizadoras. Existen diversas áreas naturales protegidas.

*La cuenca Península de Yucatán* se localiza en el sureste de México y comprende los estados de Yucatán, Quintana Roo y Campeche. Tiene una superficie de 141,523 km<sup>2</sup>. La altitud es inferior a los 100 msnm. La precipitación es 1229.3 mm/año. Los ríos más caudalosos son: Chumpán, Candelaria, Mamantel y el Río Hondo que es navegable en toda su longitud de 121 km.

La población es de 3,708,989 habitantes, el 80% vive en zonas urbanas. Las principales ciudades son Cancún, Mérida y Campeche. Se prevé un incremento de la población del 56% al 2030. El ingreso per cápita es \$10,600 dólares/año. El turismo es la actividad económica más importante, especialmente en Cancún y en la Riviera Maya. En Campeche es la extracción de petróleo crudo. El grado de marginación y rezago social es bajo y medio. La cobertura de agua potable y alcantarillado es de 94.58% y 50.80%.

El uso del suelo es 60% vegetación secundaria, 15% selva, 11% pastizal, 6% otros tipos de vegetación, 4 % agrícola y 4% bosques. El 56% de la agricultura es de temporal. Se tienen los Distritos de Riego Ticul y Río Hondo con 5,108 ha y 2,856 ha. La superficie de humedales es de 8,000 km<sup>2</sup> en 550 km de costa. Se cuenta con varias áreas naturales protegidas, que se ven amenazadas por el desarrollo turístico de la zona.

El uso del agua por sector es 63.4 % agrícola, 21% abastecimiento público, 15% industrial y 0.6 % generación de energía. La disponibilidad es 1700 m<sup>3</sup>/hab/año. No existe déficit de agua y los acuíferos presentan disponibilidad. Se tienen diez estaciones de calidad del agua, dieciséis plantas de potabilización y diecisiete de tratamiento. Los problemas ambientales son la contaminación de los mantos acuíferos y cenotes, el deterioro de humedales e intrusión salina, contaminación de fuentes de abastecimiento por lixiviados y afectación por huracanes, inundaciones y erosión de playas. Los incendios forestales afectaron 24,624 ha y se reforestaron 4644 ha.

La información requerida en la guía del programa, se obtuvo de fuentes oficiales como el Censo de Población y Vivienda del INEGI 2010; Anuarios Estadísticos de los estados de Baja California, Sonora, Guanajuato, Michoacán, Jalisco, Colima, Yucatán, Campeche y Quintana Roo . INEGI 2011; Consejo Nacional de Población (CONAPO); Estadísticas del Agua en México edición 2011 CONAGUA; El Atlas del Agua en México 2011 CONAGUA; Cubo del Agua 2008 CONAGUA y Estadísticas Agrícolas de los Distrito de Riego 2010 CONAGUA. Además se realizó un detallado análisis de las características de las cuencas, utilizando las capas de información de los Sistemas de Información Geográfica de la CONAGUA e INEGI. También se utilizaron los programas estatales y municipales de desarrollo.

### **3 CONCLUSIONES**

A partir de un minucioso análisis de la información disponible en las fuentes oficiales, se ha logrado recopilar e integrar la información requerida en la guía del programa HELP para incorporar once nuevas cuencas mexicanas al programa en una primera etapa. A partir de esta propuesta se espera fortalecer el número de cuencas mexicanas inscritas al programa internacional, de tal manera que se logren desarrollar beneficios sociales, económicos y ambientales a través de investigar el uso apropiado y sustentable del agua, mediante la ciencia hidrológica en apoyo al mejoramiento de la gestión integrada de cuencas.

### **REFERENCIAS**

Estadísticas del agua en México, Comisión Nacional del Agua. Edición 2011  
Atlas digital del Agua México 2012. Sistema Nacional de Información del Agua. CONAGUA.  
<http://www.conagua.gob.mx/atlas/>



Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)  
 Estadísticas agrícolas de los distritos de riego Año agrícola 2008-2009. Comisión Nacional del Agua. 2009  
 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). <http://www.semarnat.gob.mx>  
 Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). <http://www.cna.gob.mx/>  
 Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). <http://www.conanp.gob.mx/>  
 Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). <http://www.conafor.gob.mx>  
 Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPa). <http://www.profepa.gob.mx/>  
 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). <http://www.imta.gob.mx/>  
 Instituto Nacional de Ecología (INE). <http://www.ine.gob.mx/>  
 Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO).  
<http://www.conabio.gob.mx/>  
 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).  
<http://www.sagarpa.gob.mx/>  
 Secretaría de Turismo (SECTUR). <http://www.sectur.gob.mx>  
 Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEA BC). <http://www.cea.gob.mx/index.htm>  
 Organismo Operador Municipal de APA y Saneamiento (OOMAPAS) en San Luis Río Colorado. Sonora.  
<http://www.sanluisrc.gob.mx/ayuntamiento/dependencias/oomapas.html>  
 Comisión Estatal del Agua en Sonora. <http://www.ceasonora.gob.mx/>  
 Consejos de Cuenca del Alto Noroeste.  
[http://www.consejosdecuenca.org.mx/modules.php?name=News&new\\_topic=8](http://www.consejosdecuenca.org.mx/modules.php?name=News&new_topic=8)  
 Organismo Operador Municipal de APA y Saneamiento (OOMAPAS). Caborca, Sonora.  
<http://www.oomapascaborca.org/>  
 Organismo Operador Municipal de APA y Saneamiento (OOMAPAS) Nogales, Sonora.  
<http://publico.oomapasnogales.gob.mx/publico/principal/index.aspx>  
 Comisión Municipal de Agua Potable (COMAP) Unidad Guaymas. <http://www.polemancom.com/item-cea-guaymas>  
 Agua de Hermosillo. Hermosillo Sonora, <http://www.aguadehermosillo.gob.mx/inicio/>  
 Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) <http://www.guanajuato.gob.mx/ceag/>  
 Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León. (SAPAL) <http://www.sapal.gob.mx/>  
 Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas. <http://www.michoacan.gob.mx/ceac/>  
 Comisión Forestal del Estado de Michoacán. <http://cofom.michoacan.gob.mx/>  
 Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente de Michoacán (SUMA)  
<http://www.michoacan.gob.mx/gobierno/dependencia/suma.htm>  
 Organismo Operador de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de Morelia OOAPAS.  
[http://www.ooapas.gob.mx/ooapas\\_web/inicio.php](http://www.ooapas.gob.mx/ooapas_web/inicio.php)  
 Comisión Estatal del Agua en Jalisco. <http://www.ceajalisco.gob.mx/>  
 Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable. Jalisco.  
[www.jalisco.gob.mx/wps/portal/sriaMedioAmbiente/](http://www.jalisco.gob.mx/wps/portal/sriaMedioAmbiente/)  
 Agua y Saneamiento de Tepatlán (ASTEPA). <http://www.tepatitlan.gob.mx/paginas/Astepa.php>  
 Organismo Operador del Servicio de Agua Potable en el Municipio de Acatic.  
<http://www.acatic.jalisco.gob.mx/gobierno/deptos/agua>  
 Comisión Estatal del Agua en Jalisco. <http://www.ceajalisco.gob.mx/>  
 Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable. Jalisco.  
[www.jalisco.gob.mx/wps/portal/sriaMedioAmbiente/](http://www.jalisco.gob.mx/wps/portal/sriaMedioAmbiente/)  
 Comisión Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Colima y Villa de Álvarez (CIAPACOV).  
<http://www.ciapacov.col.gob.mx/>  
 Comisión de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado de Manzanillo CAPDAM. <http://www.capdam.gob.mx>  
 Consejo de Ciencia, Innovación y Tecnología del Estado de Yucatán (CONCIYTEY)  
<http://www.yucatan.gob.mx/gobierno/directorio>  
 Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán (JAPAY). <http://www.japay.yucatan.gob.mx/>  
 Secretaría del Medio Ambiente y Aprovechamiento Sustentable (SMAAS)  
<http://www.smaas.campeche.gob.mx/>  
 Aprovechamiento Forestal Sustentable. Gobierno del Estado de Campeche.  
<http://www.smaas.campeche.gob.mx/aprovechamiento.php>  
 Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Campeche SMAPAC.  
<http://www.smapacampeche.gob.mx/constitucion.html>

Secretaría de Medio Ambiente (SEDUMA) del Estado de Quintana Roo  
<http://sema.qroo.gob.mx/index.php/component/content/frontpage>  
Comisión de Agua Potable y Alcantarillado. (CAPA) Quintana Roo. <http://www.capa.gob.mx/>

# RESERVAS DE AGUA PARA LA PROTECCIÓN ECOLÓGICA DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS COPALITA, COYULA Y ZIMATÁN, OAXACA

Ignacio Daniel GONZÁLEZ-MORA <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Programa Agua. Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF México), Acueducto 320. Xochimilco. Oaxaca de Juárez, [igonzaalez@wwfmex.org](mailto:igonzaalez@wwfmex.org)

## RESUMEN

La identificación de reservas potenciales de agua (RPA) para el medio ambiente en México es una iniciativa de política pública lanzada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en colaboración con la Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. (FGRA). Su objetivo es reservar volúmenes de agua destinados a la protección ecológica de cuencas con atributos de alta importancia para la conservación de la biodiversidad, presencia de áreas naturales protegidas y sitios Ramsar, presencia de vedas de agua o disponibilidad de agua declarada; y por otra parte, baja presión de uso, ausencia de acuíferos sobreexplotados, distritos de riego o presas. Las cuencas de los ríos Copalita, Coyula y Zimatán forman un complejo hidrológico importante en la costa de Oaxaca por su biodiversidad. Las dos primeras han sido identificadas como cuencas factibles para las RPA. Con base en el trabajo de evaluación de caudal ecológico realizado por la Alianza WWF-FGRA, a través del método holístico de Construcción por Bloques (*Building Block Methodology*), se obtuvo los volúmenes anuales necesarios para mantener la funcionalidad ecológica de los tres ríos, con base en 10 sitios representativos. Los resultados logrados permiten incorporar al río Zimatán en un estudio técnico justificativo que fundamenta la petición de reserva de agua (Art. 41 de la Ley de Aguas Nacionales) para las tres cuencas, en cinco unidades de gestión hidrológica, reconocidas por la CONAGUA. Con esta reserva se asegurarían  $587 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  para Copalita,  $176 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  para Coyula y  $112 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  para Zimatán, lo que da un total de  $875 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  para la protección ecológica de las cuencas. Estos volúmenes se obtuvieron empleando el caudal ecológico promedio y garantizarán la provisión de bienes y servicios ecosistémicos para sus habitantes y los 300,000 visitantes que llegan al centro turístico de Bahías de Huatulco. Existe un gran potencial de replicar los estudios de caudal ecológico al contar ya con la NMX-AA-159-SCFI-2012 y trabajar con las 189 identificadas como potenciales para declarar reservas de agua en el país.

**Palabras clave:** Caudal ecológico, reservas de agua, Copalita, Coyula, Zimatán

## 1 ANTECEDENTES

En 2004, la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P (FGRA) y el Fondo Mundial para la Naturaleza, (WWF por sus siglas en inglés), establecieron una Alianza con el objetivo de desarrollar nuevos modelos de manejo del agua en el país. Para ello se seleccionaron tres cuencas en las ecorregiones de trabajo de WWF: la parte alta del río Conchos en el Programa Desierto Chihuahuense, los ríos Copalita-Zimatán-Huatulco en la Sierra Costera, dentro del Programa Oaxaca y el río San Pedro Mezquital, en el Programa Golfo de California.

El principio fundamental de este modelo es la consideración del funcionamiento natural de los ecosistemas como la forma sustentable de asegurar la provisión de agua y servicios ambientales

para el desarrollo. Asumir este principio implica un cambio de paradigma en el manejo del agua, para establecer una nueva gestión hídrica basada en el enfoque ecosistémico y en límites sustentables de extracción de agua (WWF-México, 2006).

Estos esfuerzos de la Alianza WWF-FGRA enfocados a asegurar agua para el ambiente coinciden con la necesidad de la sociedad de recuperar agua como medida para disminuir su vulnerabilidad, promover una gestión centrada en el ahorro y garantizar cuencas en equilibrio, objetivo estratégico de la Agenda del Agua 2030 del Gobierno Federal.

Actualmente la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) encabeza un proceso de diálogo regional en América Latina para instrumentar una agenda de adaptación al cambio climático en el sector hídrico a escala global. Este diálogo establece como uno de sus mensajes principales la necesidad de incorporar la ‘dimensión ambiental’ dentro de los procesos de gestión de los recursos hídricos, de tal manera que podamos reducir la fragilidad ecológica y así lograr una mejor adaptación al cambio climático.

Del trabajo coordinado entre la CONAGUA y la Alianza WWF-FGRA, se ha logrado un análisis de la factibilidad para el establecimiento de reservas de agua en México, política pública que permitirá asegurar el agua y los servicios ambientales relacionados de los que dependen la sociedad presente y futura de México (CONAGUA, 2011).

La evaluación del potencial de las cuencas hidrológicas para tener reservas de agua se realizó a partir de distintas variables que permiten conocer los méritos e inconvenientes de una cuenca para establecer una reserva de agua: atributos de alta importancia para la conservación de la biodiversidad, presencia de áreas naturales protegidas y sitios Ramsar, presencia de vedas de agua o disponibilidad de agua declarada; y por otra parte, baja presión de uso, ausencia de acuíferos sobreexplotados, distritos de riego o presas.

De este análisis resultaron 189 cuencas o unidades de gestión hidrológica con características favorables para su decreto como reservas de agua (de acuerdo con el Art. 41 de la Ley de Aguas Nacionales) en tres niveles de factibilidad: 19 cuencas con factibilidad “muy alta”, 54 con factibilidad “alta” y 116 con factibilidad “media”.

Estas 189 unidades de gestión se ubican en 31 (84%) de las 37 regiones hidrológicas y se garantizaría la funcionalidad ecológica (en términos de su hidrología) en 97 ANP (50% del total) y 55 de los humedales (41% del total) con importancia internacional bajo la Convención Ramsar (CONAGUA, 2011).

Dentro de estas unidades de gestión hidrológica factibles, se consideran Copalita 1 y Coyula, cuencas en las que la Alianza WWF-FGRA ha determinado, junto con la del río Zimatán, el caudal ecológico, que es la base técnico-científica para establecer la reserva de agua.

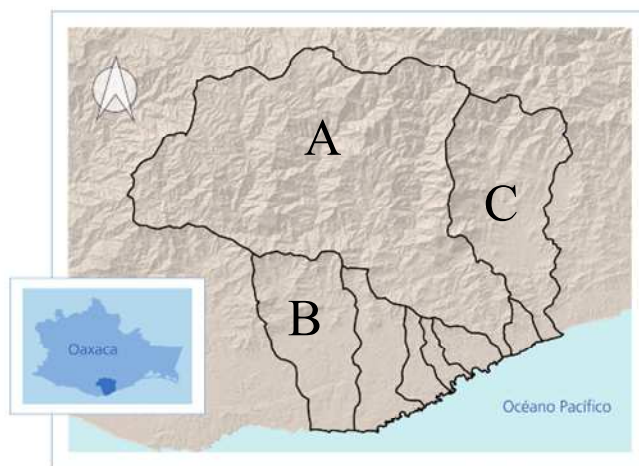
## **2 DESARROLLO**

### **2.1 Área de estudio**

El complejo hidrológico Copalita-Zimatán-Huatulco (CZH) en el estado de Oaxaca (Fig. 1), cubre una superficie total de 268,023 ha. La cuenca del río Copalita abarca 152,945 ha y la constituyen las

subcuencas Copalita, Yuviaga, Pluma Hidalgo y Río Hondo. La cuenca del río Zimatán tiene 47,270 ha, las cuencas de Huatulco 34,631 ha y la de Coyula 33,176 ha.

Existen tres corrientes perennes en CZH, los ríos Copalita, Zimatán y Coyula. Se extiende en rangos de altitud que van desde los 3,750 msnm en las montañas Nube Flandes y Quiexhoba, hasta el nivel del mar. Dentro del complejo se localiza el desarrollo turístico Bahías de Huatulco y las poblaciones de la Crucecita y Santa María Huatulco, que se cuentan entre los principales asentamientos humanos de la región, para los cuales estas cuencas son el principal abastecedor de agua.



**Figura 1.** Ubicación del complejo hidrológico CZH. Cuencas con ríos permanentes: A= Copalita, B= Coyula y C= Zimatán.

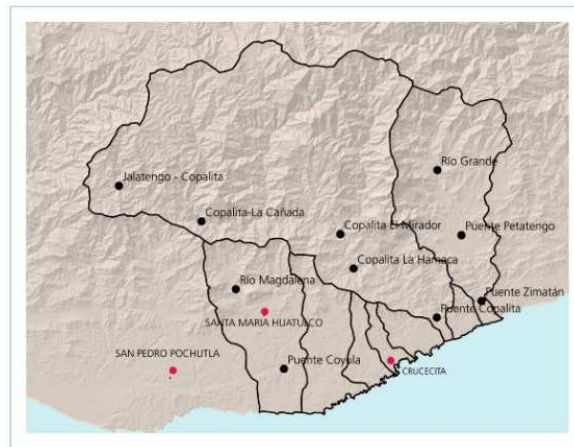
CZH presenta una gran complejidad socioeconómica y política, además de una variada diversidad biológica reconocida nacional e internacionalmente. Dentro de las cuencas CZH se encuentran 26 de los 34 tipos de vegetación que existen en el territorio nacional. Por su importancia biológica, algunos sitios de la zona han sido declarados como regiones prioritarias para la conservación: la Región Terrestre Prioritaria ATP 129 Sierra Sur y Costa (CONABIO, 2004a) y la Región Marina 36 Huatulco (CONABIO 2002). Aquí también se localiza el Área de Interés para la Conservación (AICA) C-17 Sierra de Miahuatlán (CONABIO, 2004b). Forma parte de las selvas secas del Pacífico del Sur de la Ecorregión 56 Selvas Secas Mexicanas, una de las 200 eco-regiones prioritarias del mundo (Olson *et al.*, 2000).

En CZH se encuentra el Parque Nacional Huatulco (11,890 ha), que alberga en el ambiente terrestre selvas secas, y en el marino, arrecifes de coral, los más meridionales del Pacífico mexicano. A finales de 2003 la Convención de Humedales (RAMSAR) incluyó en la lista de humedales de importancia internacional a las Cuencas y Corales de la zona costera de Huatulco con una superficie de 44,400 ha. Además en 2006 Huatulco fue nombrada como reserva de la biosfera por el programa MAB de la UNESCO.

## 2.2 Evaluación de caudal ecológico

Para evaluar los caudales ecológicos se empleó el método holístico conocido como *Building Block Methodology* (BBM) o Metodología por Bloques (King *et al.*, 2000). La clave del método radica en encontrar el papel que ejercen los caudales sobre todos los componentes, atributos o procesos del ecosistema fluvial, incluidos los de carácter social, económico y cultural, a partir del reconocimiento del régimen de caudales naturales (Poff *et al.*, 1997; Richter *et al.*, 1997).

Se seleccionaron 10 sitios representativos (Fig. 2) de los ríos para los cuales se generó información de flujo base (Escolero, 2006) y de indicadores de salud de la cuenca mediante muestreos biológicos y su correlación con variables fisicoquímicas y mediciones de caudal (IBUNAM, 2008).



**Figura 2.** Sitios para la evaluación de caudal ecológico (negro). En rojo se presentan las principales localidades de CZH.

Con la información integrada como insumo principal para el taller, se celebró una reunión con 18 especialistas y profesionales para discutir la propuesta de caudal ecológico. Cada propuesta final se fundamentó con una justificación multidisciplinaria referente a los procesos o atributos que esos caudales conservan en el sistema fluvial.

Por otra parte, los expertos calificaron la importancia y sensibilidad ecológicas y la presión de uso de los tramos de río, lo que permitió conocer su estado ecológico (EE) actual basado en criterios establecidos que califica el EE en una escala gradual de A hasta D, donde A es el estado natural con alteraciones menores.

## 2.3 Estudio técnico justificativo para la reserva de agua

Para realizar el estudio técnico justificativo se analizaron las unidades hidrológicas definidas por CONAGUA para los estudios de disponibilidad y con las cuales se trabajó el estudio de reservas potenciales de agua.

Se caracterizó el sistema hidrológico, los aspectos socioeconómicos, la cobertura vegetal y el cambio de uso de suelo, la calidad, usos y disponibilidad del agua en las cuencas para evaluar las implicaciones del caudal ecológico propuesto en términos de una reserva de agua.

Se resumió la información en una tabla de balance hídrico, tal y como se expresa la disponibilidad del agua, incorporando el volumen correspondiente al caudal ecológico y restándolo antes de declarar el volumen disponible.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Caudal ecológico

Se contó con información de una estación hidrométrica para el río Copalita (1972-1990) y una para el río Zimatán (1984-1985), así como la disponibilidad oficial para los ríos Copalita, Zimatán y Huatulco (DOF 2007). El análisis hidrológico permitió separar los datos para años secos y húmedos y las avenidas. La serie histórica del sitio Copalita La Hamaca fue fundamental ya que el análisis de sus datos sirvió para establecer las extrapolaciones y transferencias de datos a otras cuencas que no tienen información.

Los sitios representativos una vez analizada la información generada por las campañas de muestreo biológico (IBUNAM, 2008) fueron considerados, en términos generales, con integridad de hábitat e importancia y sensibilidad ecológicas altas.

Para sustentar las propuestas de caudales ecológicos los aspectos relevantes considerados por los especialistas fueron descritos por González-Mora *et al.* (2009) y consideraron a grupos biológicos de plantas acuáticas, vegetación de galería, moluscos, insectos acuáticos, crustáceos y peces. En estas cuencas no es un factor crítico la geomorfología. Debe ponerse especial atención a la gestión del agua de los manantiales que abastecen de agua a las localidades y son fuente importante del flujo base de los ríos.

Los aspectos sociales que integran los ámbitos culturales y de actividades productivas de los habitantes, fueron siempre puestos en un lugar preponderante. De esta manera se propusieron caudales que permitan mantener esos vínculos entre el hombre y su ambiente, en las diferentes épocas del año. Un río que fluye suministra a las personas los productos y servicios necesarios para su desarrollo, sobre todo en la parte media y baja de las cuencas; también proporciona el goce estético y el sentido místico en la parte alta, donde predomina la población indígena zapoteca, que percibe a los cuerpos de agua naturales como entidades con vida propia.

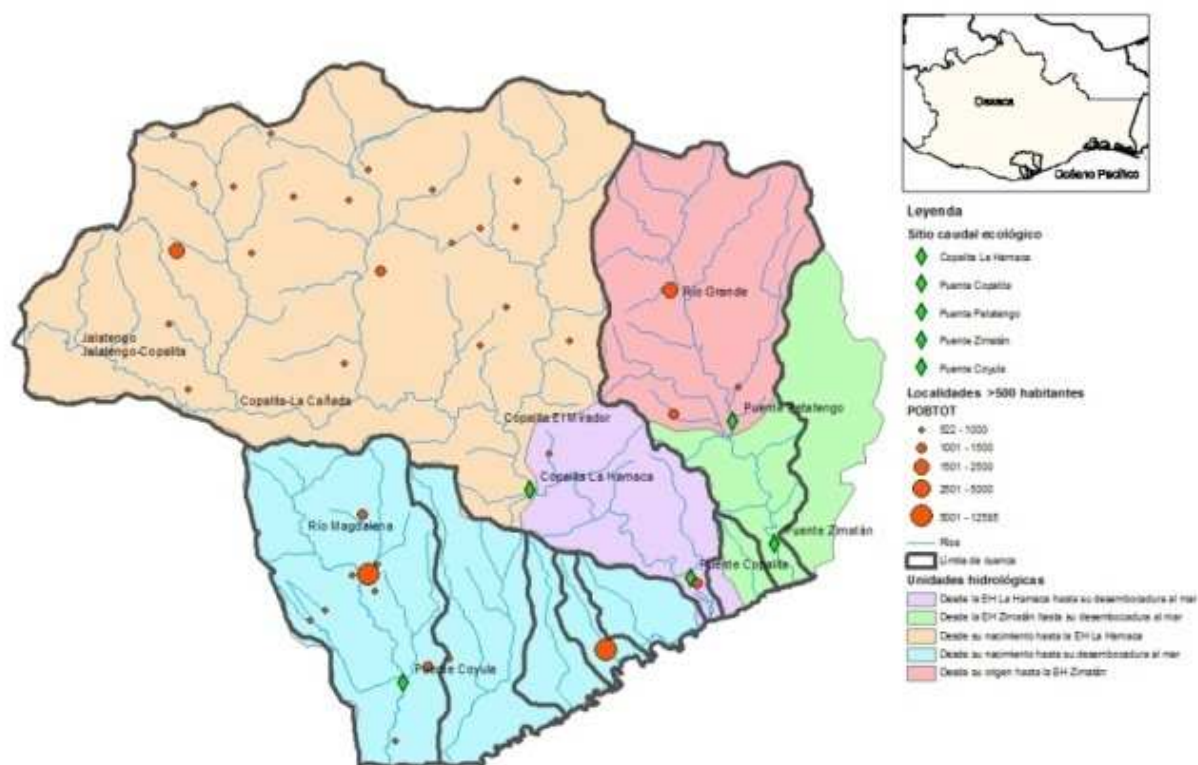
Las propuestas de caudales ecológicos, se revisaron contra la serie histórica de datos para comprobar su verosimilitud. En todos los casos los caudales obtenidos estuvieron dentro los intervalos observados en la serie histórica.

### 3.2 Estudio técnico justificativo

Las unidades de gestión hidrológica con factibilidad de convertirse en reservas de agua en CZH son dos: Copalita 1 y Coyula (CONAGUA, 2011). Una vez identificadas las cinco cuencas hidrológicas con disponibilidad decretada y basado en los resultados de caudal ecológico se realizó un estudio técnico para proponer a las otras tres cuencas, para que pudiera reservarse agua para Copalita 1, Copalita 2, Coyula y Zimatán 1 y Zimatán 2 (Fig. 3). El estudio sólo se enfocó a los cinco sitios que definen cuenca hidrológica, no considerando los otros cinco de la evaluación de caudal ecológico.

Los resultados del análisis socioeconómico indican que la cuenca tiene amplia dispersión de habitantes (Tabla 1), en condición de marginación, con pocas opciones económicas y con problemas de analfabetismo:

El área comprende 20 municipios. Dentro de los 20 municipios hay 854 localidades, de las que 851 son rurales (menores a 2,500 habitantes). El 70% de los municipios se rigen bajo el sistema político de usos y costumbres. 52% de los habitantes son mujeres. 42% de los habitantes son menores de 18 años, y 5% mayores de 65. El 90% habita en municipios con alta y muy alta marginación. 80% residen en localidades rurales (inferiores a 5,000 habitantes).



**Figura 3.** Unidades hidrológicas de CONAGUA y sitios de caudal ecológico definitivos

El 70% no tiene acceso a servicios de salud. 53% de la población ocupada labora en el sector primario. 69% percibe ingresos inferiores a 2 salarios mínimos (SMMZ). Únicamente el 5% percibe más de 5 SMMZ. El 25% de los mayores de 5 años son hablantes de lengua indígena. 21% No sabe leer y escribir. 42% de los mayores de 15 años no cursó primaria completa (Agroder y WWF, 2009).

**Tabla 1.** Datos poblacionales por cuenca hidrológica

Cuenca	Número de localidades	Población Total (número de habitantes)	Área (ha)	Área (km <sup>2</sup> )	Densidad de población (hab.*km <sup>-2</sup> )
--------	-----------------------	--	-----------	-------------------------	--



Cuenca	Número de localidades	Población Total (número de habitantes)	Área (ha)	Área (km <sup>2</sup> )	Densidad de población (hab.*km <sup>-2</sup> )
Copalita 1	333	30,554	133,279	1,333	22.9
Copalita 2	31	3,010	20,331	203	14.8
Zimatán 1	36	4,223	37,272	373	11.3
Zimatán 2	7	1,810	26,559	266	6.8
Coyula	155	38,335	64,902	649	59.1
<b>Total</b>	<b>562</b>	<b>77,932</b>	<b>282,343</b>	<b>2,823</b>	<b>27.6</b>

Una de las amenazas del complejo CZH es el problema de la pérdida de cobertura vegetal, que principalmente se debe a los cambios de uso del suelo y a la deforestación en las partes altas de las cuencas, tal como lo informó Martínez (2006) (Tabla 2). La más alterada es la cuenca del Coyula; la que más se ha recuperado es Zimatán 2 y la que mayor superficie sin cambio por uso de suelo presenta es Copalita 1.

**Tabla 2.** Cambio de uso del suelo por cuenca hidrológica

Cuenca	Cambio de uso de suelo, superficie (%)			Total
	Alteración	Recuperación	Sin cambio	
Copalita 1	13.9	2.1	84.1	100.0
Copalita 2	15.9	30.0	54.1	100.0
Zimatán 1	15.1	3.8	81.1	100.0
Zimatán 2	11.5	49.8	38.7	100.0
Coyula	22.0	9.8	68.2	100.0

El uso del agua que más volumen consume es el público urbano con un 75%, seguido del agrícola con un 21%. Este factor favorece a las reservas de agua porque no hay una competencia por el agua entre los diferentes usos (Tabla 3) y asegurar el agua para el ambiente favorece la sustentabilidad de las fuentes de agua para abastecimiento humano, tanto superficiales como subterráneas.

**Tabla 3.** Volúmenes de usos consuntivos de las aguas superficiales (2006, hm<sup>3</sup>\*año<sup>-1</sup>) y porcentajes de uso de acuerdo con REPGA

Subregión	Total (hm <sup>3</sup> *año <sup>-1</sup> )	Acuícola	Agrícola	Doméstico	Pecuario	Industrial	Múltiples	Público Urbano	Servicios
Copalita	3.31	3.47%	10.26%	0.13%		0.03%		41.89%	
Zimatán	0.12	0.00%	9.82%	0.74%		0.00%		29.28%	
Coyula o Huatulco	1.12	0.00%	0.63%	0.00%		0.00%		3.76%	
<b>Total</b>	<b>4.55</b>	<b>3.47%</b>	<b>20.70%</b>	<b>0.86%</b>		<b>0.03%</b>		<b>74.93%</b>	

Los volúmenes que serían reserva de agua se presentan en la Tabla 4, obtenidos del proceso de evaluación de caudales ecológicos en CZH. Una vez cotejados los caudales propuestos contra los datos históricos, se puede obtener el porcentaje que representan del caudal medio. Como puede

observarse los datos de caudales ecológicos obtenidos, representan en términos generales el 62% de los caudales medios, que corresponden a importancia ecológica alta o media y a presiones de uso bajas o medias en el cuadro de escenarios de caudales ecológicos.

En la Tabla 5 se muestran los datos para años secos, húmedos y promedio, a manera del estudio técnico justificativo.

**Tabla 4.** Propuesta de reserva de agua basada en caudales ecológicos para las cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco.

Sitio	Importancia ecológica	Sensibilidad ecológica	Presión de uso	Estado ecológico presente	Estado ecológico deseado	Año seco ( $m^3*s^{-1}$ )			Año húmedo ( $m^3*s^{-1}$ )			Caudal medio histórico ( $hm^3*año^{-1}$ )	Caudal ecológico promedio (%)
						C. bajos	C. altos	Avenidas	C. bajos	C. altos	Avenidas		
Río Copalita 1 (La)	Media	Media	Media	B	A	5.0	25.0	Naturales	7.5	55.0	Naturales	869.3	65.1
Río Copalita 2 (Puente)	Alta	Media	Media	B	A	5.5	28.5	Naturales	8.5	60.0	Naturales	895.5	65.6
Río Zimatán 1 (Puente)	Media	Media	Baja	B	B	1.0	5.0	Naturales	1.5	10.0	Naturales	194.6	61.6
Río Zimatán 2 (Puente)	Alta	Alta	Media	A	A	1.4	8.0	Naturales	2.5	16.0	Naturales	290.4	65.7
Río Coyula (Puente)	Alta	Alta	Alta	C	B	0.6	4.0	Naturales	1.0	9.0	Naturales	339.0	51.9

El caudal ecológico para años secos, que son los más críticos para los ecosistemas y los asentamientos humanos en las cuencas es del 41%.

**Tabla 5.** Propuesta de reserva de agua basada en caudales ecológicos para las cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco.

Caudal ecológico como porcentaje del EMA	Copalita		Zimatán		Coyula
	Río Copalita 1 (La Hamaca)	Río Copalita 2 (Puente Copalita)	Río Zimatán 1 (Petatengo)	Río Zimatán 2 (Puente Zimatán)	Río Coyula (Puente Coyula)
<b>Año seco</b>	42.7%	43.9%	42.6%	44.4%	32.9%
<b>Año húmedo</b>	87.4%	87.2%	80.6%	87.0%	70.8%
<b>Promedio</b>	65.1%	65.6%	61.6%	65.7%	51.9%

Si estos resultados se reflejan en los balances hídricos que sustentan los estudios y declaratorias de disponibilidad de aguas superficiales, aun queda agua suficiente para concesionar o asignar pero se han establecidos límites sustentables para las extracciones de agua que no comprometen el funcionamiento de los ecosistemas y por tanto la provisión de sus bienes y servicios (Tabla 6).

**Tabla 6.** Resultados del estudio de disponibilidad considerando los caudales ecológicos para años promedio en los ríos Copalita, Zimatán y Coyula.

No.	Cuenca hidrológica	Escorrentamiento medio anual ( $10^6 m^3$ )	Caudal ecológico anual ( $10^6 m^3$ )	Disponibilidad anual restando el caudal ecológico ( $10^6 m^3$ )	Clasificación
1	Río Copalita 1: Desde su nacimiento hasta la EH La Hamaca	868.35	565.54	302.81	Disponibilidad
2	Río Copalita 2: Desde la EH La Hamaca hasta su desembocadura al mar	895.46	587.16	308.30	Disponibilidad
3	Río Coyula: Desde su nacimiento hasta su	338.97	175.79	163.18	Disponibilidad

No.	Cuenca hidrológica	Escorrentamiento medio anual (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Caudal ecológico anual (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Disponibilidad anual restando el caudal ecológico (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Clasificación
	desembocadura al mar				
4	Río Zimatán 1: Desde su origen hasta la EH Zimatán	73.10	45.04	28.06	Disponibilidad
5	Río Zimatán 2: Desde la EH Zimatán hasta su desembocadura al mar	169.77	111.59	58.18	Disponibilidad

#### 4 CONCLUSIONES

1. En el complejo de cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco (CZH), existe una gran riqueza natural reconocida nacional e internacionalmente, aún con un buen grado de conservación. Y constituye un atractivo turístico invaluable para el estado de Oaxaca y para el país.
2. En cuanto a los usos consuntivos de las aguas nacionales superficiales, solo se aprovecha el 0.5 % equivalente a 4.55 millones de metros cúbicos anuales del volumen generado en toda la cuenca CZH. que es de 1,404 millones de metros cúbicos anuales. El principal uso, que es el público urbano, es casi 4 veces mayor que el agrícola. No hay otras actividades socioeconómicas que compitan por el agua.
3. El caudal ecológico de las tres cuencas suma 875 millones de metros cúbicos, mismo que representa el 62 % de la disponibilidad total. Este caudal está fundamentado en la información disponible, actual y en el trabajo de un grupo técnico-científico que formuló la propuesta, basado en la metodología BBM.
4. Las reservas de agua son un instrumento que establece la Ley de Aguas Nacionales (Art. 41) para garantizar los flujos mínimos para la protección ecológica, incluyendo la conservación o restauración de ecosistemas vitales, como los humedales; siendo estos flujos los caudales ecológicos.
5. Las reservas de agua para la protección ecológica aseguran la provisión de bienes y servicios ecosistémicos de la cuenca, por lo que se favorecería la recarga de las aguas subterráneas que abastecen al destino turístico Bahías de Huatulco, polo de desarrollo económico que es visitado por 300,000 turistas por año.
6. Existe un gran potencial de replicar los estudios de caudal ecológico al contar ya con la NMX-AA-159-SCFI-2012 y trabajar con las 189 identificadas como potenciales para declarar reservas de agua en el país.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., por su apoyo en los procesos para la evaluación de caudal ecológico en CZH, para la norma mexicana respectiva y para la iniciativa de

reservas de agua en México. Al Instituto de Biología de la UNAM. Al personal del Programa Agua de WWF México.

## REFERENCIAS

- Agroder y WWF. 2009. *Propuesta de Diseño e Implementación de esquemas de incentivos compensatorios para la conservación de las cuencas Copalita, Zimatán y Huatulco” Fase II*. Convenio KZ89. WWF México. 142 pp.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2011. *Identificación de reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México*. CONAGUA. SEMARNAT. México. 85 pp.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2002. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/docts/rmp\\_036.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/docts/rmp_036.html)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2004a. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalización/doctos/rtp\\_129](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalización/doctos/rtp_129)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2004b. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/C-17.html>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2007. *ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas de los ríos San Francisco, Río Grande, Río Manialtepec, Río Colotepec 1, Río Colotepec 2, Río Cozotaltepec 1, Río Cozotaltepec 2, Río Tonameca 1, Río Tonameca 2, Río Copalita 1, Río Copalita 2, Río Coyula, Río Zimatán 1, Río Zimatán 2, Río Ayuta 1, Río Ayuta 2, Río Astata 1, Río Astata 2 y Río Mazatán, mismos que forman parte de la región hidrológica número 21 denominada Costa de Oaxaca*. Viernes 8 de junio de 2007.
- Escolero, O. 2006. *Estudio hidrológico para evaluar el flujo base en las cuencas de: Copalita, Zimatán y Huatulco, Oax*. WWF México. Programa Bosques Mexicanos. Convenio KG22. Oaxaca, México. 86 pp
- González-Mora, I. D., G. de la Lanza-Espino y R. Sánchez- Navarro. 2009. *Memoria del Taller: propuesta de caudal ecológico en la cuenca Copalita-Zimatán-Huatulco*. Manejo del agua en cuencas hidrográficas: desarrollo de nuevos modelos en México. WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. México, D.F. 19 p.
- Instituto de Biología, UNAM (IBUNAM). 2008. *Propuesta de indicadores de la salud de la cuenca para el monitoreo biológico del sistema hidrológico Copalita-Zimatán-Huatulco, Oax*. Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. Documento interno. Convenio KG69. Oaxaca, México. 108 pp.
- King J., R. Tharme and M. DeVilliers. 2000. *Environmental Flow Assessments For Rivers: Manual for the Building Block Methodology*. WRC, Pretoria South Africa. 340 pp.

- Martínez, A. 2006. *Monitoreo del cambio de uso del suelo en Sierra Costera, Oaxaca periodo 2000-2005*. WWF México. Programa Bosques Mexicanos. Convenio KE46. Oaxaca, México. 27 p.
- Olson, D.M., E. Dinerstein, R. Abell, T. Allnut, C. Carpenter, L. McClenachan, J. D'Amico, P. Hurley, K. Kassem, H. Strand, M. Taye and M. Thieme. 2000. *The Global 200: A representation approach to conserving the Earth's distinctive ecoregions*. Conservation Science Program, World Wildlife Fund-US. Washington, D.C. 179 pp.
- Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks and J.C. Stromberg (1997). The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47 (11): 769-784.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, R. Wiginton and D.P. Braun. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology* 37: 231-249.
- WWF-México. 2006. *Estrategia General del Programa de Manejo de Cuencas Desarrollo de Nuevos Modelos en México*. Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. (FGRA). Documento Interno. Julio, 2006.



# LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA: PROPUESTA DE ANÁLISIS SISTÉMICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS ESTRATÉGICOS DE SOSTENIBILIDAD

Luis Ricardo MANZANO SOLÍS, Marcela Virginia SANTANA JUÁREZ, Elsa Mireya ROSALES ESTRADA, Roberto FRANCO PLATA

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, México, C.P. 50110, email: [luisrms@gmail.com](mailto:luisrms@gmail.com)

## RESUMEN

Ante un escenario de problemas hídricos recurrentes y cada vez más notorios en la Zona Metropolitana de Toluca, se hace evidente la búsqueda de acercamientos distintos al análisis de los procesos en que estos ocurren, con la finalidad de identificar elementos estratégicos que guíen a la gestión sostenible del agua en el marco de ciudades saludables. En el caso de este trabajo, se propone un acercamiento a partir de una visión sistémica del agua y su gestión, aplicada mediante un análisis de cadena causal que parta de los principales problemas hídricos, e identifique los procesos de los que derivan y la eficacia de las soluciones que a la fecha se han brindado. Un primer resultado de este ejercicio académico ha sido un modelo sistémico de gestión del agua para una primera identificación de aspectos estratégicos de sostenibilidad del recurso hídrico. Otro de los resultados ha sido la adecuación del modelo de gestión al marco de indicadores Fuerza impulsora- Presión-Estado-Impacto-Respuesta, el cual mantiene el enfoque sistémico y permite valorar el grado de relación entre cada uno de los aspectos del modelo, con lo que se espera lograr un marco para la priorización de elementos estratégicos de gestión sostenible del agua.

**Palabras clave:** Gestión Integrada de Recursos Hídricos, Zona Metropolitana de Toluca, análisis de cadena causal, indicadores sistémicos.

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento expone la forma en que se llegó a identificar un conjunto de aspectos estratégicos de gestión sostenible del agua, comenzando por el análisis de los antecedentes que enmarcan la importancia de su realización. Posteriormente se exponen los sustentos teóricos y metodológicos en que se fundamentan el procedimiento seguido para llegar a los resultados que aquí se muestran, de los cuales se realizó un análisis que realmente el proyecto, para finalizar con un conjunto de conclusiones globales sobre la experiencia lograda y las expectativas para proyectos futuros.

## **2 ANTECEDENTES**

### **2.1 GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS EN MÉXICO**

En México la implementación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) está en proceso, ello explica los resultados logrados a la fecha y permite vislumbrar lo que falta por lograr. A nivel internacional, la situación es similar a lo que ocurre en México en aquellos países que han decidido optar por la GIRH, se está pasando de lo teórico a lo práctico. Sandoval y Navarrete (2005), reconocen en el gobierno federal el interés por lograr una gestión sostenible del agua, sin embargo, matizan que a la fecha las acciones no han sido efectivas, por lo que llaman a basar el uso y aprovechamiento de agua en un esquema de gestión integrada, en la que la participación organizada de los usuarios del agua sea un pilar que brinde balance ante las decisiones guiadas por cuestiones políticas o económicas.

### **2.2 LA ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA**

La Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), se localiza en el centro del Estado de México, se integra por catorce municipios: Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec. Se caracteriza por presentar predominio en las actividades terciarias e industriales; las diversas áreas de uso de suelo: habitacional, comercial, industrial, hacen que sea una zona con gran potencial de crecimiento e importancia regional y nacional de los mercados (Santana, 2013).

## **3 SUSTENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS**

### **3.1 TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS, DESARROLLO SOSTENIBLE Y GIRH**

La Teoría General de Sistemas, que propicia la formulación y derivación de aquellos principios que son válidos para los sistemas en general y su representación mediante modelos (Bertalanffy, 2006), sustenta la visión sistémica del territorio, para que éste sea apreciado como un conjunto de elementos interrelacionados que funcionan como un todo y, por consecuencia, donde las afectaciones a alguno de sus elementos se traducen en impactos directos e indirectos al resto de elementos del sistema y al sistema como un todo. La idea del Desarrollo sostenible es la visión sistémica puesta en práctica con un propósito o fin, ya que su concepto expone claramente de principio de relaciones que existe en un sistema territorial, al propiciar un desarrollo coordinado de las vertientes económica, social y ambiental de los territorios, ya que supone que estos elementos están vinculados, y la falta de atención de alguno de ellos tarde o temprano se traduce en obstáculo para el resto de los componentes del desarrollo. A su vez, el Desarrollo sostenible declara que éste implica el uso y aprovechamiento racional de los recursos naturales para propiciar el desarrollo social y económico de largo plazo y sin afectar su disponibilidad para las futuras generaciones. En este trabajo se aprecia a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) como un medio para fomentar el Desarrollo sostenible de un territorio a partir de una adecuada gestión del agua. La GIRH considera al agua como un elemento articulador entre distintos componentes del sistema territorial y, por consecuencia, las afectaciones al agua, o a los componentes asociados a ella, le repercutirán, a la vez que creará repercusiones sobre sus elementos asociados. Por lo tanto, la GIRH



brinda estructura y organización al ser un proceso de planeación estratégica participativa con visión sistémica del territorio, de forma tal que busca identificar los componentes del sistema de gestión y, consecuentemente, a los actores clave para llevar adecuadamente dicha tarea.

## **3.2 SUSTENTOS METODOLÓGICOS**

### **3.2.1 Planeación estratégica**

La GIRH como un proceso de planeación estratégica se compone de las fases generales de (a) definición de la visión, misión y valores de la comunidad que busca crear e implementar el plan, (b) análisis de la situación, (c) selección de estrategias, (d) elaboración del plan de GIRH, (e) implementación de dicho plan y (f) evaluación y seguimiento al plan (Cap-Net *et al.*, 2005). Para el caso del presente proyecto, la visión, misión y valores son guiados por el proyecto de investigación mayor denominado *Ciudades saludables en México, a partir de una perspectiva geográfica. Caso Zona Metropolitana de Toluca* (Santana *et al.*, 2012), cuya finalidad es proponer estrategias para consolidar ciudades en la que sus habitantes tengan buenos estándares de vida desde una perspectiva sistémica e integradora, con expectativas aceptables para sus habitantes futuros. El análisis de la situación busca identificar cómo está el escenario de gestión del agua del territorio en cuestión, para identificar aspectos estratégicos en busca de una gestión efectiva del vital líquido. En lo que se refiere al análisis de la situación, se propone que se realice con el esquema teórico metodológico aquí expuesto, por lo que el trabajo se centró en esta fase.

### **3.2.2 Análisis de cadena causal**

De forma concreta, en el análisis de cadena causal se define un problema fundamental, y a partir de éste se identifican las causas de dicho problema y las consecuencias que éste acarrea. De esta forma, se hace evidente la dimensión que tiene o puede llegar a tener el problema (consecuencias), a la vez que sale a la luz el hecho de que para brindar una solución adecuada al problema, posiblemente no solo basta con actuar sobre el problema en sí, sino que hay que tomar acción sobre los elementos que causan dicho problema. Para el caso de esta investigación, para identificar los principales problemas de gestión del agua se levantó una encuesta en el mes de abril de 2013 en los municipios que componen la ZMT, específicamente entre los pobladores que habitan o se encontraban en la cabecera del municipio, en la que se incluyeron las preguntas *¿Cuál considera usted que es el principal problema relacionado con el agua que ocurre en su comunidad? En su opinión ¿qué es lo que provoca este problema con el agua? ¿Este problema con el agua le ha generado algún otro problema? ¿Ha usted participado en buscar solución a este problema con el agua? ¿De quién cree usted que es responsabilidad dar solución de este problema con el agua?* A partir del problema identificado, se aplicó el análisis de cadena causal con base en las respuestas obtenidas, derivando en primer esquema con perspectiva causa-efecto. Es fundamental subrayar que por los tiempos en que se desarrolló el levantamiento de la encuesta y la elaboración del presente reporte, al momento de redactar este texto aún no se había completado la base de datos para procesar los datos derivados de las encuestas, por lo que se trabajó con un ejercicio exploratorio a partir de la contabilización de un subconjunto de las encuestas y la discusión de la experiencia en campo de los encuestadores (que fueron 60).

### 3.2.3 Modelado del sistema de gestión del agua

A partir de los problemas identificados, y su relación con sus causas y efectos, fue posible comenzar a definir un bosquejo del proceso de gestión del agua en el territorio, el cual puede ser complementado con elementos no evidentes, pero que participan o son importantes de considerar en el proceso del problema principal, construido con base en el conocimiento de expertos y en los fundamentos de la GIRH y su perspectiva sistémica. El resultado es un primer modelo del sistema de gestión del agua.

### 3.2.4 Indicadores sistémicos

Una vez generado el modelo mencionado en el apartado anterior, y con miras a identificar elementos estratégicos de gestión del agua, se hace indispensable clarificar el tipo relación que existe entre los componentes del modelo y tratar de cuantificar y cualificar dichas relaciones. Para ello se propuso emplear el marco de trabajo denominado Fuerza impulsora-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FiPEIR). Una vez clasificados los elementos, es posible comenzar a identificar aspectos estratégicos de gestión, pero también es importante poder medir y caracterizar dichos elementos, sobre todo desde la perspectiva sistémica, de forma tal que se destaque el grado (en escala de fuerte a débil) de la relación entre los elementos, así como la cantidad de conexiones que tiene cada uno de los elementos, para contar así con un criterio de priorización de estrategias.

## 4 RESULTADOS: LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA

### 4.1 PRINCIPALES PROBLEMAS HÍDRICOS

En la ZMT los principales problemas identificados con la gestión del agua tienen que ver con la disminución en la disponibilidad del vital líquido, su mala calidad para consumo, la ocurrencia de inundaciones (sobre todo en las zonas cercanas al río Lerma) y la contaminación del recurso. Por las razones explicadas en el apartado de sustentos metodológicos, y por cuestiones prácticas al formato de exposición del congreso, sólo se desarrolla el caso de la disponibilidad de agua, cuyo esquema de cadena causal generado a partir del ejercicio de la encuesta se expone en la figura 1.

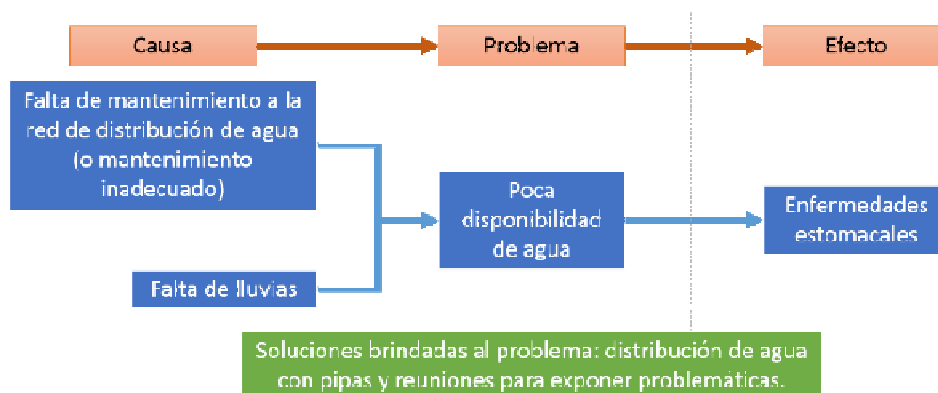
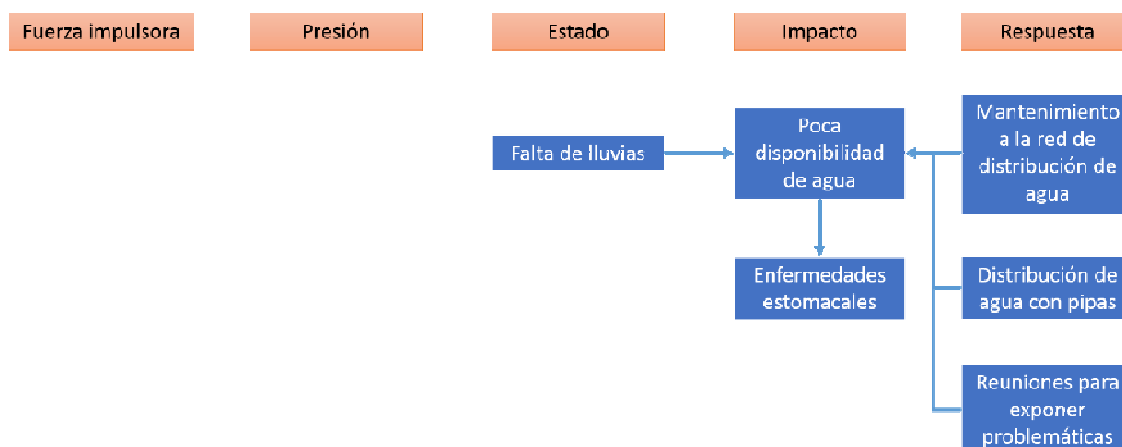


Figura 1. Esquema resultante del análisis de cadena causal para el caso de disponibilidad de agua en la ZMT.

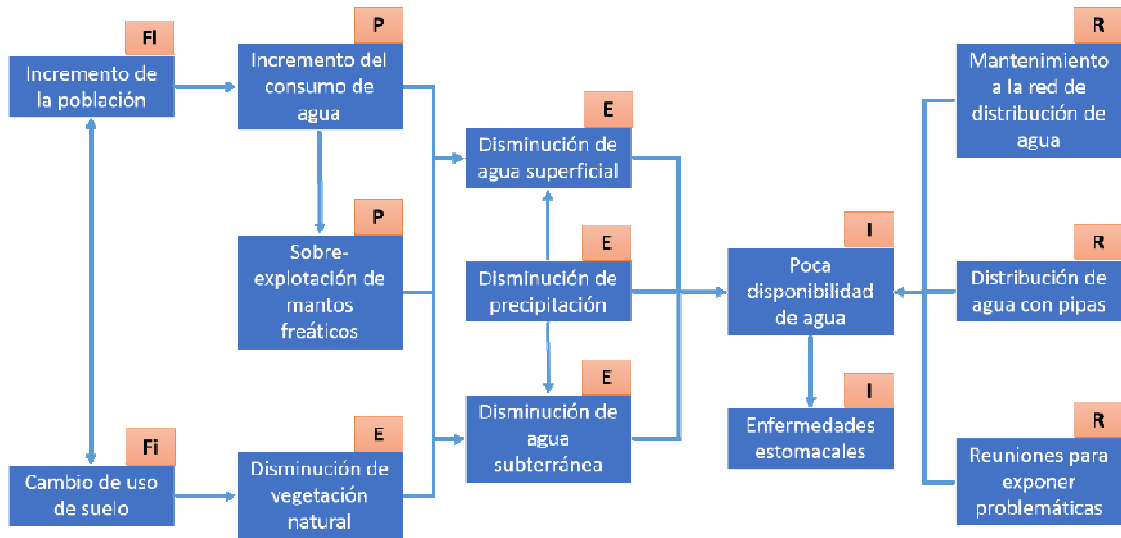
## 4.2 ANÁLISIS SISTÉMICO

Al tomar el esquema de la figura 1 y adaptarlo al marco de trabajo FiPEIR según se muestra en la figura 2, resultó que la poca disponibilidad de agua es un impacto sobre la población, mismo que a su vez está vinculado al impacto de enfermedades estomacales de la población, mientras que el estado del entorno natural, expresado en la encuesta, es la falta o disminución de lluvias. Este marco de trabajo permitió exponer que ante el problema principal, que la respuesta de los gestores ha sido en ocasiones el mantenimiento a la red de distribución del agua, la distribución de agua con pipas y convocar a algunos pobladores a reuniones para exponer sus problemas y demandas particulares.

Como se puede apreciar en la figura 2, hay aspectos del marco FiPEIR que no figuran, pero que si existen, y que en un entorno de análisis sistémico es necesario identificar. Esta situación llevó al equipo de trabajo a plantear preguntas como ¿La falta de lluvias es la única que influye en la disponibilidad de agua? ¿Qué otros aspectos se pueden considerar que influyen en la disponibilidad de agua? ¿Qué acciones de la población pueden ser considerados como presiones sobre el entorno natural hasta modificarlo a grado de que provoquen los impactos? ¿Qué impulsa esas presiones? La respuesta a las preguntas anteriores condujo a completar el marco de trabajo FiPEIR para el caso de la disponibilidad de agua en la zona de estudio (Figura 3).

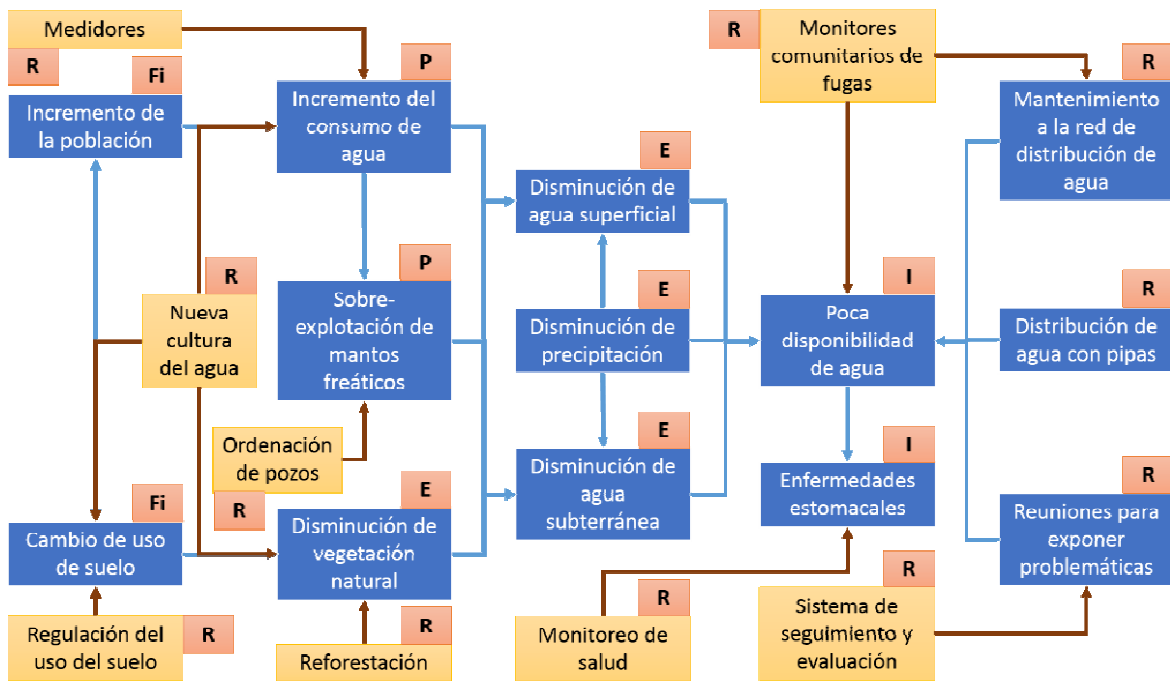


**Figura 2.** Adaptación del análisis de cadena causal de la figura 1 al marco de trabajo FiPEIR, para el caso de disponibilidad de agua en la ZMT.



**Figura 3.** Complementación del marco FiPEIR para la disponibilidad de agua en la ZMT, con base en el conocimiento y experiencia del equipo de trabajo.

Una vez que se contó con una perspectiva sistémica más completa del proceso de gestión de la disponibilidad de agua en la ZMT, se estuvo en condiciones de cuestionar el proceso mediante las preguntas ¿Han sido eficientes las respuestas brindadas hasta el momento al problema de poca disponibilidad del agua? ¿Existen otras alternativas de respuesta? Las respuestas a dichos cuestionamientos de agregaron al modelo de gestión FiPEIR a manera de respuestas (recuadros en color anaranjado), tal y como se muestra en la figura 4.



**Figura 4.** Modelo de gestión del agua en el marco de FiPEIR para el caso de disponibilidad de agua en la ZMT.

### 4.3 INDICADORES PARA EL MODELO DE GESTIÓN

El siguiente paso en el proceso fue identificar los indicadores con los que podrían cuantificar y/o cualificar los componentes del modelo logrado en la etapa anterior (Figura 4). La idea es ocupar los indicadores para conocer la dinámica, evolución y tendencias de cada uno de los elementos e identificar el grado de relación entre elementos. Con ese tipo de análisis se pretende contar con criterios para la identificación y priorización de aspectos estratégicos de sostenibilidad en la gestión del agua. De esta forma, a partir del análisis de la figura 4 se presenta una lista de indicadores para cada uno de los elementos del marco de trabajo FiPEIR (Tabla 1). Al tratarse de un proyecto que ha iniciado recientemente, al momento sólo se elaboró, a manera de ejemplo, la lista inicial de indicadores que se presenta en la tabla 1, quedando pendiente el análisis de su factibilidad de aplicación para poder emplearlos para la zona de estudio y alimentar el modelo, para así contar con mayor información, sobre todo en la parte de respuestas, pues permitirá identificar si las respuestas propuestas ya existen o si se han aplicado de forma adecuada. Además, en esta parte del análisis es importante recalcar la importancia de la elaboración de los indicadores para una serie temporal, de forma tal que se pueda apreciar su comportamiento a lo largo del tiempo y se pueda definir el grado de vínculo o relación con otros elementos analizados también de manera temporal, a manera de relaciones directa o inversamente proporcionales, de forma tal que sea factible establecer que al ejercer una acción para mejorar una condición, también se mejoren las condiciones relacionadas a ella.

**Tabla 1.** Ejemplos de indicadores identificados para caracterizar tendencias temporales cualitativas y cuantitativas del modelo de gestión del agua en la ZMT, para el caso de disponibilidad del agua.

Marco de trabajo	Elemento del modelo	Indicadores (temporales)
Fuerza impulsora	Incremento de la población	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa de crecimiento de la población</li> <li>Población total</li> </ul>
	Cambio de uso del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa de cambio de uso de suelo</li> <li>Relación de tipo de cambio de uso de suelo</li> </ul>
Presión	Incremento del consumo de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen de agua según tipo de consumo</li> </ul>
	Sobre-explotación de mantos freáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen de agua extraído en pozos vs capacidad de recarga vs recarga real</li> </ul>
Estado	Disminución de la vegetación natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>Superficie de vegetación natural</li> </ul>
	Disminución de aguas superficiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caudal de la cuenca</li> <li>Balance hídrico</li> </ul>
	Disminución de precipitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Precipitación total anual</li> <li>Índice de desertificación</li> <li>Índice de aridez</li> <li>Balance hídrico</li> </ul>
	Disminución de agua subterránea	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen de agua subterránea</li> <li>Balance hídrico</li> </ul>

**Tabla 1.** Ejemplos de indicadores identificados para caracterizar tendencias temporales cualitativas y cuantitativas del modelo de gestión del agua en la ZMT, para el caso de disponibilidad del agua **(continuación)**.

Marco de trabajo	Elemento del modelo	Indicadores (temporales)
Impacto	Poca disponibilidad de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua disponible por tipo de consumo</li> <li>• Estrés hídrico</li> </ul>
	Enfermedades estomacales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasas de morbilidad por agua vs morbilidad general</li> <li>• Morbilidad según ocurrencia de disminución de disponibilidad de agua</li> </ul>
Respuesta	Medidores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existencia de medición</li> <li>• Volumen de agua consumido</li> <li>• Agua consumida vs agua facturada</li> <li>• Agua consumida vs disponibilidad de agua</li> </ul>
	Nueva cultura del agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de eventos con la temática</li> <li>• Participantes en eventos</li> <li>• Número de programas asociados</li> <li>• Presupuesto dedicado a la actividad</li> <li>• Número de personas de la población involucradas</li> </ul>
	Regulación de uso del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existencia de regulación</li> <li>• Número de trámites para cambio de uso de suelo</li> <li>• Relación uso de suelo urbano vs uso natural</li> </ul>
	Ordenación de pozos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de pozos protegidos</li> <li>• Aplicación de medidas de protección</li> <li>• Recursos destinados a la protección</li> </ul>
	Reforestación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existencia de planes de reforestación</li> <li>• Superficie reforestada</li> <li>• Índice de supervivencia</li> </ul>
	Monitoreo de la salud	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No. de casos asociados a temas hídricos</li> </ul>
	Monitores comunitarios de fugas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existencia de monitores</li> <li>• Número de fugas reportadas vs atendidas</li> </ul>
	Sistemas de seguimiento y evaluación (de las reuniones)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grado de cumplimiento de compromisos</li> </ul>
	Mantenimiento de la red de distribución de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de eventos atendidos</li> <li>• Tiempo promedio de atención</li> <li>• Tipo de atención brindada (preventiva/correctiva)</li> </ul>
	Distribución de agua con pipas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de eventos</li> <li>• Volumen de agua distribuido</li> <li>• Demanda vs atención</li> </ul>
	Reuniones para exponer problemáticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existencia de reuniones</li> <li>• Número y tipo de reuniones</li> <li>• Grado de cumplimiento de compromisos</li> <li>• Número y tipo de participantes</li> <li>• Nivel de participación y compromiso de asistentes</li> </ul>

#### 4.4 IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS ESTRATÉGICOS DE SOSTENIBILIDAD

A partir del análisis del modelo mostrado en la figura 4, es posible establecer un conjunto de aspectos estratégicos de sostenibilidad en la gestión del agua para asegurar su disponibilidad:

- Implementar medidores de consumo de agua, para realizar un cobro justo del servicio (durante la experiencia de la encuesta se estableció que la gente acepta que desperdicia agua, estando consciente de que dicha acción no es una buena práctica).
- Implementar un programa de cultura del agua con una visión de GIRH, para propiciar la participación de la población en la solución de sus problemas de agua (en la encuesta, la gran mayoría de los entrevistados estableció que son las autoridades las únicas responsables de solucionar la disponibilidad del agua).
- Crear (o aplicar si es que ya existen) leyes que regulen el cambio de uso de suelo, asegurando que éste se realice de una forma ordenada y sostenible.
- Establecer (o respetar si es que ya existe) un programa de ordenación en la explotación de pozos de agua.
- Llevar a cabo brigadas de reforestación para incrementar la vegetación como factor importante para la retención e infiltración del agua de lluvia.
- Que la población en conjunto con las autoridades forme brigadas que monitoreen la red de distribución del agua para prevenir y atender fugas en la misma.
- Realizar campañas de salud, sobre todo en época de baja disponibilidad del líquido, para atender posibles problemas de salud debidas a su escasez.
- Desarrollar un sistema para la evaluación y seguimiento público de los compromisos que se adquieren durante las reuniones para la gestión del agua. El internet podría ser una herramienta clave para este propósito.
- Es necesario formar un equipo interdisciplinario para atender la formulación, aplicación y análisis de los indicadores del marco de trabajo FiPEIR. A saber, personas con perfil de ingeniero forestal, hidrólogos, antropólogos, comunicólogos, geógrafos, geólogos, politólogos, médicos, ingeniero civil y planificadores urbanos.
- Es necesario involucrar a los siguientes actores clave: las autoridades de los tres niveles de gobierno (y de sectores como salud, agua, ambiente, forestal y desarrollo social), la población, los centros educativos y expertos en la materia. Formar una comunidad de gestión sostenible del agua puede ser una alternativa idónea para este involucramiento.
- No dejar de llevar a cabo las acciones que se han venido realizando (repartir agua en pipas, dar mantenimiento a la red de distribución del agua y reuniones con la población), pero buscar mecanismos para hacerlas más eficientes.

## 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La aplicación de encuestas entre la población permite definir su perspectiva sobre los problemas hídricos a los que se enfrenta en su diario acontecer; sin embargo, para que un gestor de GIRH llegue a identificar aspectos estratégicos integrados de gestión sostenible de agua, es fundamental que complemente esa perspectiva con la de los administradores gubernamentales y los expertos en temas relacionados con el ciclo hidrológico, ya que pueden coincidir en la ocurrencia de las problemáticas, clarificar su planteamiento o identificar otras tantas, sobre todo relacionadas con la

parte administrativa o del funcionamiento sistémico del ciclo del agua. Por lo tanto, hay que resaltar que los modelos expuestos en este trabajo están fundamentados en la visión de la población y que es necesario sean analizados y enriquecidos por los otros actores mencionados. En lo que respecta al análisis de cadena causal, éste es un método efectivo para identificar elementos y relaciones entre los principales problemas hídricos y sus posibles causas y efectos, brindando información para comenzar a configurar un marco de trabajo FiPEIR, el cual expresa un modelo sistémico de la gestión del agua, al exponer las relaciones directas e indirectas del problema general, y por lo tanto ampliando la visión a posibles soluciones de amplio impacto y, sobre todo, sostenibles. El empleo de indicadores para evaluar el modelo desde una perspectiva cuantitativa, cualitativa y temporal, permitirá fundamentar con cifras y hechos objetivos la propuesta de aspectos estratégicos de gestión, ya que expondrá el grado de relación entre los componentes del marco de trabajo FiPEIR y el impacto que puede llegar a tener el aplicar una solución que desencadene en mejoras en otros componentes del modelo. Por lo anterior, es importante definir a la brevedad posible el conjunto de indicadores para evaluar el modelo de gestión del agua en cuanto a la disponibilidad del vital líquido en la ZMT. Adicionalmente, el marco de trabajo FiPEIR ha permitido identificar un primer conjunto de aspectos estratégicos para una gestión sostenible del agua. Dichos aspectos tienen que ver con acciones (respuestas) que se requieren para solucionar de fondo la problemática principal, abarcando más allá de las soluciones tipo “emergencia”, que si bien solucionan el problema de disponibilidad al momento, no son sostenibles porque tarde o temprano el recurso económico o hídrico se agotará y no se podrá atender la demanda de la población. Este análisis también ha permitido destacar el hecho de que no todas las acciones para solucionar el problema corresponden a la autoridad y que más bien, es necesario el involucramiento de otros actores, entre ellos la población y expertos en distintas áreas. Es importante recalcar que en un marco de GIRH, los aspectos estratégicos aquí expuesto y cualquier otro que se derive de la realimentación de otros actores, debe ser consensada entre toda una comunidad de gestión sostenible del agua, evitando en todo momento confrontación de intereses y buscando más bien establecer escenarios “ganar-ganar”.

## **6 CONCLUSIONES**

El empleo de los sustentos teóricos y metodológicos, así como el procedimiento seguido, permitieron definir un conjunto de aspectos estratégicos para la gestión sostenible del agua, con el cual es posible alimentar la fase de Análisis de la situación de un proceso de planeación estratégica de GIRH. Lo siguiente en un proceso de GIRH sería establecer criterios para seleccionar y priorizar dichas estrategias y así estar en condiciones de comenzar a establecer proyectos, objetivos, metas, acciones y responsables de un plan de GIRH. Para que los resultados tengan la estructura integradora de la GIRH, es necesario complementar la perspectiva de la población de los problemas y soluciones relacionados con la disponibilidad del agua, con aquella de otros actores clave en el proceso de gestión, a saber las autoridades y expertos en la materia. Los resultados logrados ponen de manifiesto que se puede emplear el procedimiento y métodos seguidos en las otras problemáticas identificadas en la ZMT, es decir, sobre la mala calidad del agua para consumo, la ocurrencia de inundaciones y la contaminación del recurso. Como resultado se tendría aspectos estratégicos para cada tema, por lo que también se tendría que hacer un análisis horizontal entre los aspectos estratégicos para cada problemática, con la finalidad de identificar aspectos en común o aquellos de alto impacto para todos los temas. Por lo anteriormente dicho, es un hecho que los modelos no son



definitivos, más bien son dinámicos para adaptarse a la evolución del proceso de gestión del agua y sea representativos en todo momento de las condiciones actuales del territorio. Finalmente, se puede establecer que por los resultados conseguidos, la propuesta desarrollada da pauta a la identificación e integración de distintos actores para una participación interdisciplinaria en el proceso de gestión sostenible del agua. Además, es importante resaltar que los aspectos estratégicos a que se lleguen con este acercamiento, se propondrán con base en el funcionamiento del sistema, dejando de lado cuestiones políticas o administrativas, para así poner atención a las prioridades reales y no sólo a las políticas o económicas, que aun así no dejan de tener un peso relativo en la gestión.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su más profundo agradecimiento al PROMEP de la SEP, ya que mediante el apoyo otorgado al proyecto *Ciudades saludables en México, a partir de una perspectiva geográfica. Caso Zona Metropolitana de Toluca* (FE055/2012), es posible el desarrollo de la investigación. Adicionalmente, expresan un amplio reconocimiento al trabajo realizado por los asistentes de investigación involucrados en la recolección y procesamiento de los datos empleados en este estudio.

## REFERENCIAS

- Bertalanffy, L. 2006. *Teoría General de los Sistemas*. 2ª ed. Fondo de cultura económica, Distrito Federal, México, pp. 57-82.
- Cap-Net, GWP y UNDP 2005. *Planes de Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Manual de capacitación y Guía Operacional*. México, 109 pp.
- Sandoval Minero, R. y Navarrete Ramírez, A. 2005. El reto de consolidar la participación social en la gestión integral del agua. El caso de la cuenca Lerma Chapala. En: *Problemas socioambientales y experiencias organizativas en las cuencas de México*. Vargas, S. y Mollard, E. (editores). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1ª Ed. México. pp. 52-63.
- Santana Juárez M. V., Rosales Estrada, E. M., Manzano Solís, L. R. 2012. *Ciudades saludables en México, a partir de una perspectiva geográfica. Caso Zona Metropolitana de Toluca*. Anteproyecto de investigación, Inédito, México, 9 pp.
- Santana Juárez, M. V. 2013. *Proyecto de práctica de campo de Geografía urbana del 4º semestre de la licenciatura en Geografía*. Inédito, México, 19 pp.



# EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RÍOS SANTA CATARINA Y LA SILLA, MEDIANTE UN ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD DE CUENCAS.

Daniel CASTRO LÓPEZ y Víctor GUERRA COBIÁN  
Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingenierías Civil,  
Centro Internacional del Agua  
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México

## RESUMEN

La evaluación del Índice de Sostenibilidad de Cuencas el cual es utilizado para evaluar de manera integral que tan sostenible es una cuenca hidrográfica haciendo énfasis en la Gestión Integral del Recurso Hídrico evaluando parámetros de Presión-Estado-Respuesta en cuatro áreas: Hidrología, Medio Ambiente, Vida y Políticas, para evaluar la cuenca. Este índice fue aplicado para evaluar la cuenca del río Santa Catarina y su sub-cuenca el río La Silla de los años 2000 al 2010, dada la disponibilidad de los datos. La cuenca del río Santa Catarina y el río La Silla se encuentran en la región administrativa IV de la cuenca del río Bravo, la cual atraviesa el Área Metropolitana de Monterrey (AMM). El valor resultante fue 0.71 (rango de 0-1) con el cual se denomina una cuenca con "Sostenibilidad Intermedia". Las áreas que fortalecen dicho resultado son el área de Medio Ambiente, Vida y Políticas. El "Cuello de Botella" o área de oportunidad se presenta en el área Hidrológica, en los rubros de Cantidad y Calidad dado que por ser cuenca con flujo intermitente aunado a la escasez del agua presenta un valor bajo y la Calidad se ve afectada por la contaminación del recurso puesto que la cuenca atraviesa el AMM. La evaluación arrojó resultados preliminares de una primera evaluación, sin embargo el actualizar la información regional sería de gran utilidad para incrementar la precisión de dicha evaluación del WSI, así como establecer normativas especializadas para dichas cuencas y metodologías de GIRH, para la mejora de las mismas.

**Palabras clave:** Sostenibilidad, GIRH, WSI, H.E.L.P., Cuencas.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el año 2011, el río Santa Catarina en el AMM, Nuevo León, México el cual fue evaluado por medio de un Índice de Sostenibilidad de Cuencas (WSI). Las razones principales para evaluar el nivel de sostenibilidad, utilizando el método WSI, fueron la situación actual, evaluar el como ha impactado el cambio climático en la región y las prácticas administrativas adoptadas por la cuenca, así como el nivel de vida y la disponibilidad del recurso ayuda al desarrollo de la vida. La aplicación del WSI, presentada en esta contribución, la sugerencia de aplicar el Índice de Sostenibilidad de Cuencas promoverá el equilibrio entre los procesos económicos, la protección al ambiente y el desarrollo de la población tomando en cuenta a la cuenca y al recurso hídrico.

Por ello el poder entender la complejidad en que funcionan los sistemas naturales y los recursos que componen los mismos, nos proporcionara el conocimiento necesario para la mejora del ecosistema y protección del equilibrio del mismo para la preservación óptima de nuestro medio ambiente

## 2. ZONA DE ESTUDIO Y METODOLOGIA.

### 2.1 Zona de estudio

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM), se situá al noreste de México, a 534 metros sobre el nivel del mar, se desarrolló como una ciudad en una planicie poblada al pie de la ultima parte de la Sierra Madre Oriental, la cual es atravesada de oriente a poniente por el cauce del río Santa Catarina y el río La Silla.



Figura 1. Cuenca del río Santa Catarina y su sub-cuenca el río La Silla

El río Santa Catarina es parte de la cuenca del río San Juan que a su vez es parte del río Bravo. El río Santa Catarina es una corriente intermitente originada en elevaciones de 3000 metros sobre el nivel del mar. El río de La Silla nace en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental a elevaciones del orden de los 2,350 metros sobre el nivel del mar, a unos 15 km al sur de la ciudad de Monterrey. El área de la cuenca es de 1,805 km<sup>2</sup> y la lluvia media anual en la cuenca, varía desde los 500mm en sus orígenes, hasta los 700 mm en las cercanías de la unión con el río San Juan.

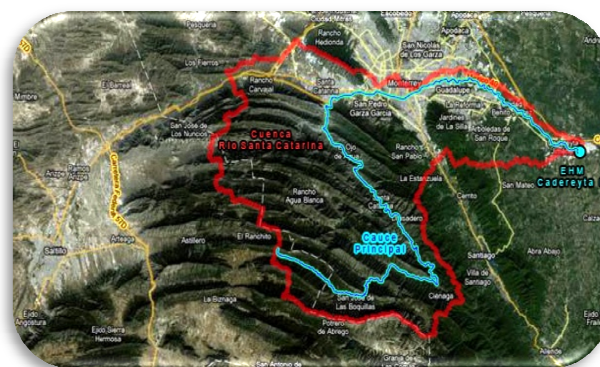


Figura 2 Cuenca del río Santa Catarina y su sub-cuenca el río La Silla

## 2.2 Metodología.

El Índice de Sostenibilidad de Cuencas (WSI, por sus siglas en inglés) se encuentra detallado en Chaves y Alipaz (2007) y en PHI-UNESCO (2008). Por ende, solo se referenciarán los aspectos claves del índice, así como también algunas modificaciones realizadas durante el proceso de ser escogido para los ríos Santa Catarina y La Silla. El WSI es un sistema integrado de evaluación, utilizado para estimar la condición de sostenibilidad de una cuenca determinada, tomando en cuenta los aspectos hidrológicos(H), ambientales(E) y socioeconómicos(L) y de políticas de GIRH(P):

(1)

Donde WSI (0-1) es el índice de sostenibilidad de la cuenca; H (0 -1) es el sub-indicador hidrológico; E (0 -1) es el sub-indicador ambiente; L (0-1) es el sub-indicador de vida (humana); y P(0-1) es el sub-indicador de política. Todos los sub-indicadores tienen el mismo peso, ya que su importancia relativa no puede ser establecida prioritaria pues los cuatro son componentes esenciales en la sostenibilidad de la cuenca (Chaves y Alipaz, 2007; PHI-UNESCO, 2008).

WSI	Presión	Estado	Respuesta
H (Hidrología)	Variación en la disponibilidad de agua per cápita en la cuenca para el periodo.	Disponibilidad de agua per cápita en la cuenca (promedio de largo plazo).	Mejora en la eficiencia, potabilización y distribución del agua.
	Variación en el DBO5 de la cuenca para el periodo.	DBO5 de la cuenca (promedio de largo plazo).	Mejora en el tratamiento del agua.
E (Medio Ambiente)	EPI (rural y urbano) de la cuenca en el periodo.	Porcentaje de la cuenca con vegetación natural.	Evolución en la conservación de la cuenca (% de áreas protegidas, BMPs) en el periodo
L (Vida)	Variación en el ingreso per cápita en la cuenca durante el periodo.	IDH de la cuenca (ponderado con la población del corregimiento).	Evolución en el IDH de la cuenca durante el periodo.
P (Políticas)	Variación en el IDH-E, Educativo durante el periodo.	Capacidad Legal ,Institucional y de Participación Ciudadana de la cuenca en GIRH.	Evolución en las inversiones en GIRH realizadas en la cuenca durante el periodo.

**Tabla 1 Metodología H.E.L.P..**

El valor final del WSI surge, por tanto, de la cuantificación de cada uno de los atributos presentes para cada parámetro de presión, estado y respuesta, una vez obtenido este valor, se analizarán los “Cuellos de Botella” o áreas de oportunidad de la cuenca con respecto a la sostenibilidad,

finalmente los valores serán contrastados con respecto a una escala de referencia que indica el grado de sostenibilidad, que presenta la cuenca analizada. El rango de sostenibilidad se divide en tres según los datos arrojados por el WSI, en Sostenibilidad baja con un rango de  $WSI < 0.5$ , Sostenibilidad media con un rango de  $0.5 < WSI < 0.8$  y de Sostenibilidad alta con un rango de  $WSI > 0.8$ , (Tabla 1.2).

**Tabla 1.2 rango de Sostenibilidad.**

Rango de Sostenibilidad		
BAJA	MEDIA	ALTA
$WSI < 0.50$	$0.50 < WSI < 0.80$	$WSI > 0.80$

v

Fuente: PHI-VII *et al.*, 2008

Para su correcta utilización, Chaves y Alipaz recomiendan que el WSI sea calculado a intervalos de cada 5 años, lo cual surge de un compromiso entre disponibilidad de información, posibilidad de evaluar el efecto de políticas aplicadas en el rango habitual de gestión de los gobiernos, tasas de cambio de la tecnología y la variabilidad climática.

### **2.3 Metodología Indicadores para Presión, Estado Respuesta.**

Para realizar esta investigación, se tomó en cuenta la metodología propuesta en el Índice de Sustentabilidad de Cuencas (Chaves y Alipaz, 2007), por el trabajo presentado en el canal de Panamá (PHI-VII *et al.*, 2008), y el estudio en Chile del río Elqui (Rodríguez, 2010), proponiendo un cambio en la metodología para los siguientes parámetros de respuesta de los indicadores de Medio Ambiente y Políticas, dado que en la metodología son analizados cualitativamente y en esta investigación dada la falta de información se realizó por medio de métodos cualitativos como análisis definidos para poder evaluar la cuenca. Se tomó en cuenta que los valores registrados para cantidad de agua, serán evaluadas ambas subcuencas como una sola dado que ambas cuencas se unen en la estación Cadereyta II # 24327.

Para las mediciones del indicador de Hidrología se utilizó información del BANDAS, también se utilizó una base de datos de CONAGUA para la medición de la  $DBO_5$ , la cual contiene muestreos de varios parámetros en ambos ríos, del año 2000 al año 2010; así como información de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, para la evaluación de la planta potabilizadora y la planta de tratamiento de aguas residuales.

Las fotografías utilizadas para la evaluación del indicador de Medio Ambiente fueron obtenidas de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) y del programa *Google Earth*, y La

información utilizada para los análisis cualitativos fue obtenida directamente del Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM). La información que será utilizada para los Indicadores de Vida y Políticas, fue obtenida directamente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y de los informes del Índice de Desarrollo Humano (IDH) del Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNUD), para la información de legal e institucional de Políticas en GIRH, se utilizaron los documentos de Estadísticas del Agua en México, de CONAGUA. También se utilizó para desarrollar un análisis económico periódicos de la localidad, a falta de datos referentes a la inversión económica en materia de GIRH.

**Tabla 1.3 Parámetros de Presión-Estado-Respuesta..**

Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje
Hidrología (Cantidad de Agua) Presión	$\Delta 1$ : Variación de la disponibilidad de agua per cápita en el periodo (m3/persona/año).	$\Delta 1 < -20\%$	0
		$-20\% < \Delta 1 < -10\%$	0.25
		$-10\% < \Delta 1 < 0\%$	0.5
		$0\% < \Delta 1 < +10\%$	0.75
		$\Delta 1 > +10\%$	1
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje
Hidrología (Calidad de Agua) Presión	$\Delta 2$ : Variación del DBO5 de la cuenca en el periodo.	$\Delta 2 > 20\%$	0
		$20\% > \Delta 2 > 10\%$	0.25
		$10\% > \Delta 2 > 0$	0.5
		$0 > \Delta 2 > -10\%$	0.75
		$\Delta 2 < -10\%$	1
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje
Medio Ambiente Presión	$\Delta 1$ : Variación del Índice Antropogénico Modificado en el periodo. EPI	EPI > 20 %	0
		20 % > EPI > 10 %	0.25
		10 % > EPI > 5 %	0.5
		5 % > EPI > 0 %	0.75
		EPI < 0 %	1
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje
Vida Presión	Variación del PIB per cápita en la cuenca en el Periodo.	$\Delta < -20\%$	0
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0.25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0.5
		$0\% < \Delta < +10\%$	0.75
		$\Delta > +10\%$	1
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje
Políticas Presión	Variación en el Índice de Desarrollo Humano sub indicador de Educación.	$\Delta < -20\%$	0
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0.25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0.5
		$0 < \Delta < +10\%$	0.75
		$\Delta > +10\%$	1

Tablas 1.4 y 1.5 Parámetros de Presión-Estado-Respuesta.

Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje																													
Hidrología (Cantidad de Agua) Estado	Wa: Disponibilidad per cápita de agua en la cuenca-Superficial y Subterránea.(m3/persona/año).	Wa < 1700	0.00																													
		1700 < Wa < 3400	0.25																													
		3400 < Wa < 5100	0.5																													
		5100 < Wa < 6800	0.75																													
		Wa > 6800	1																													
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje																													
Hidrología (Calidad de Agua) Estado	DBO5 – Promedio de la DBO5 de la cuenca (largo plazo), en mg/l.	DBO5 > 10	0																													
		10 < DBO5 < 5	0.25																													
		5 < DBO5 < 3	0.5																													
		3 < DBO5 < 1	0.75																													
		DBO5 < 1	1																													
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje																													
Medio Ambiente Estado.	Av=Porcentaje de área de la cuenca bajo vegetación Natural remanente.	Av < 5	0																													
		5 < Av < 10	0.25																													
		10 < Av < 25	0.5																													
		25 < Av < 40	0.75																													
		Av > 40	1																													
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje																													
Vida Estado	IDH ponderado de cuenca en el periodo anterior	IDH < 0.5	0																													
		0.5 < IDH < 0.6	0.25																													
		0.6 < IDH < 0.75	0.5																													
		0.75 < IDH < 0.9	0.75																													
		IDH > 0.9	1																													
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje																													
Políticas Estado	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Marco legal</th> <th>Marco Institucional</th> <th>Participación ciudadana</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy pobre 0</td> <td>Muy pobre 0</td> <td>Muy pobre 0</td> </tr> <tr> <td>Pobre 0.25</td> <td>Pobre 0.25</td> <td>Pobre 0.25</td> </tr> <tr> <td>Regular 0.5</td> <td>Regular 0.5</td> <td>Regular 0.5</td> </tr> <tr> <td>Buena 0.75</td> <td>Buena 0.75</td> <td>Buena 0.75</td> </tr> <tr> <td>Excelente 1</td> <td>Excelente 1</td> <td>Excelente 1</td> </tr> </tbody> </table>	Marco legal	Marco Institucional	Participación ciudadana	Muy pobre 0	Muy pobre 0	Muy pobre 0	Pobre 0.25	Pobre 0.25	Pobre 0.25	Regular 0.5	Regular 0.5	Regular 0.5	Buena 0.75	Buena 0.75	Buena 0.75	Excelente 1	Excelente 1	Excelente 1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nivel</th> <th>Puntaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy pobre</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Pobre</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>Regular</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Buena</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>Excelente</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Nivel	Puntaje	Muy pobre	0	Pobre	0.25	Regular	0.5	Buena	0.75	Excelente	1
		Marco legal	Marco Institucional	Participación ciudadana																												
		Muy pobre 0	Muy pobre 0	Muy pobre 0																												
		Pobre 0.25	Pobre 0.25	Pobre 0.25																												
		Regular 0.5	Regular 0.5	Regular 0.5																												
		Buena 0.75	Buena 0.75	Buena 0.75																												
		Excelente 1	Excelente 1	Excelente 1																												
Nivel	Puntaje																															
Muy pobre	0																															
Pobre	0.25																															
Regular	0.5																															
Buena	0.75																															
Excelente	1																															
PE= $\frac{ML+MI+PC}{3} = \rightarrow$																																

Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje
Hidrología (Cantidad de Agua) Respuesta	Evolución en la eficiencia de uso de agua en la cuenca en el periodo.	Muy pobre	0
		Pobre	0.25
		Regular	0.5
		Buena	0.75
		Excelente	1
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje
Hidrología (Calidad de Agua) Respuesta	Evolución en el tratamiento y disposición de aguas residuales en la cuenca en el periodo.	Muy pobre	0
		Pobre	0.25
		Regular	0.5
		Buena	0.75
		Excelente	1
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje
Medio Ambiente Respuesta	Evolución de áreas para la conservación de cuencas (Áreas protegidas y BMPs) durante el periodo estudiado. Análisis cualitativo.	Muy pobre	0
		Pobre	0.25
		Regular	0.5
		Buena	0.75
		Excelente	1
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje
Vida Respuesta	Variación del IDH en la cuenca en el periodo (ponderado).	$\Delta < -10\%$	0
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0.25
		$0\% < \Delta < 10\%$	0.5
		$10\% < \Delta < 20\%$	0.75
		$\Delta > 20\%$	1
Indicador	Parámetro	Nivel	Puntaje
Políticas Respuesta	Evolución en la inversión en el manejo integrado de los recursos del agua.	Muy pobre	0
		Pobre	0.25
		Regular	0.5
		Buena	0.75
		Excelente	1

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Evaluación Final del WSI.

Para la evaluación final del WSI se utilizó la tabla 1.6:

Tabla 1.6 Resultados finales del WSI

WSI	PRESION		ESTADO		RESPUESTA		TOTAL
	VALOR	WSI	VALOR	WSI	VALOR	WSI	VALOR
<b>H</b> Hidrología	101.17% $\Delta$	1	49.12 m <sup>3</sup> /persona/año Wa	0.00	1 Excelente	1	0.6249
	19.73% $\Delta$ DBO5	0.25	4.40 promedio a largo plazo DBO5.	0.50	1 Excelente	1	
<b>E</b> Medio Ambiente	5.25 % EPI Índice de Presión Antrópica	0.50	84.3 % De vegetación existente en la cuenca	1	0.75 Buena	0.75	0.75
<b>L</b> Vida	3.39% $\Delta$ PIB Per Cápita.	0.75	0.913 IDH 2010 Extrapolado	1	7.39% $\Delta$ IDH Índice de Desarrollo Humano	0.50	0.75
<b>P</b> Políticas	2.13% $\Delta$ IDE Índice de Desarrollo Humano Educativo	0.75	1 1 MI 1 ML 1 MPC / 3	1	Regular 0.5	0.50	0.75



El valor del WSI final se calculó promediando todos los valores de cada parámetro PER, para después en conjunto hacer un promedio HELP, el cual nos arrojó como valor final del WSI una puntuación de 0.7185 WSI indicando una sostenibilidad media según la tabla

#### 4. CONCLUSIONES.

Con los valores obtenidos se logró concluir lo siguiente para cada indicador que a continuación se muestra:

##### 4.1 Hidrología (Hydrology).

Para el indicador de Hidrología en la evaluación de cantidad de agua se presentó un cuello de botella en el parámetro de Estado, el cual es la escasez de agua en el río, puesto que no lleva suficiente agua para abastecer en dado caso al AMM, sin embargo no se consume agua directamente del río, y contamos con fuentes de abastecimiento como las presas locales y mantos acuíferos.

En la evaluación de la calidad del agua para este mismo indicador se pueden observar dos cuellos de botella en los parámetros de Presión y Estado, esto nos indica que al menos en el periodo histórico en el año 2000 y presentaba contaminación la cuenca y no fue remediada a lo largo de los siguientes 10 años puesto en la información con la que se cuenta nos ha mostrado una tendencia a la contaminación de la misma. Como parámetros positivos, las evaluaciones arrojaron datos a favor de la cuenca dado que SADM se encarga de todo el manejo del recurso hídrico de la ciudad siendo el mejor organismo operador de México en los últimos años. El valor más ambiguo es el en el indicador de Hidrología es el resultado del parámetro de presión dado que presenta un valor WSI de 1 en una cuenca con flujo intermitente dado que la región presenta una reducida época de lluvias; y las grandes cantidades de agua reportadas en las bases de datos son a causa de fenómenos hidrometeorológicos extremos los cuales conducen grandes cantidades de agua en periodos cortos de tiempo. Es por esto que al presentar los datos del periodo de estudio la cuenca contiene una cantidad de agua no usual en comparación al periodo histórico y por ende una variación positiva, la cual indica la presencia de agua.

##### 4.2 Medio Ambiente (Environment).

Para el indicador de Medio Ambiente, los parámetros limitantes o cuellos de botellas se presentaron únicamente en el parámetro de Presión, puesto que el Índice de Presión Antrópica arrojó valores que nos indican la fuerte influencia negativa de las actividades antropogénicas sobre la cuenca y como valores positivos se logró evaluar que aunque el AMM ha estado creciendo se han ido respetando y evolucionando las ANP y la cultura de conservación, puesto que sí ha mostrado una variación negativa la cual indica deforestación y urbanización, el porcentaje de vegetación en la cuenca es mucho mayor, por eso resulta en un valor positivo al momento de la evaluación.

### **4.3 Vida (Life)**

En el Indicador de Vida encontramos parámetros positivos y un solo cuello de botella en el parámetro de Respuesta. En los parámetros de Presión y Estado no hubo problemas dado que contamos con valores altos de Producto Interno Bruto Per Cápita y de Índice de Desarrollo Humano, dado que la ciudad es una ciudad industrial, donde el flujo de dinero es amplio así como la preparación y calidad de vida son altas. El cuello de botella se presentó en el parámetro de Respuesta puesto que la variación resultó ser muy pequeña resultó en un valor regular en la evaluación del WSI esto indica una variación positiva pero esto no se evalúa como excelente según la escala dado que vario muy poco, esto puede resultar en un valor bajo en dicha escala más aun así, la poca variación no indica disminución o un valor bajo en el IDH. En conclusión se puede decir que la variación fue poca más los valores no son bajos por lo tanto no es un valor que pese negativamente en la sostenibilidad de la cuenca.

### **4.4 Políticas (Politics).**

Por último tenemos el indicador de Políticas, que al igual que en el indicador de Vida los valores fueron en si positivos, presentando solo un cuello de botella en el parámetro de Respuesta, el cual indica la falta de información acerca de inversión en GIRH, se tomaron en cuenta las obras hidráulicas y viales en los años del 2000 al 2010, se encontró que gran parte de las obras fueron para solucionar problemas viales, otras por reconstrucción de daños ocasionados por fenómenos hidrometeorológicos extremos y también se encontraron dos obras las cuales fueron de gran costo, las cuales fueron el puente de la Unidad y el parque lineal Rio Santa Catarina siendo este último el más dañino pues no respetaron el cauce natural, puesto que, al presentarse el fenómeno Hidrometeorológicos el Huracán Alex, provocó que parte de sus instalaciones ocasionaran vórtices generando socavaciones en las márgenes del rio las cuales son las avenidas más importantes del AMM. Cabe resaltar que la obra más útil conforme a su relación costo utilidad ha sido la presa Rompepicos la cual ha mitigado y salvado de graves inundaciones al AMM.

Los parámetros de Presión y Estado mostraron un comportamiento en general positivo dado que la variación en el IDH-Educativo fue positiva indicando el nivel de educación del AMM, esto infiere directamente en la cultura de la gente para el cuidado, manejo y uso del agua y la cuenca, puesto que se observó que se cuenta con instituciones al cuidado de la misma como CONAGUA, SADM, SEMARANT, que ofrecen vigilancia de la cuenca, además de normativa que regula el cuidado y calidad del recurso, y ayudando a hacer conciencia en el ciudadano por medio de programas de cultura del agua. Lo único que hace falta para un excelente manejo de la cuenca, es crear políticas normas y legislación acerca de la misma no tan generalizada, más encausada a la misma cuenca.

Una vez que fueron evaluados todos los resultados, se promedió el valor de sostenibilidad de la cuenca, todos los datos arrojaron el siguiente valor de WSI total que fue de 0.7185, esto indica un valor de sustentabilidad medio, dado la poca cantidad de parámetros limitantes o cuellos de botella presentes dado que a mayor presencia de estos baja la sustentabilidad de la cuenca, cabe señalar que al menos en los parámetros de Respuesta para los indicadores de Vida y Políticas los valores son subjetivos dado que en el indicador de Vida, aunque salió bajo con la metodología del WSI el IDH presente en la cuenca es alto, y en el de políticas el análisis se hizo de manera cualitativa viendo

pros y contras de las inversiones económicas en la cuenca recordando que es en materia de obras hidráulicas y urbanización dada la falta de información de inversión en GIRH.

#### **4.5 WSI (Watershead Sustainability Index).**

Finalmente el cálculo del WSI por medio de la metodología propuesta por Chaves (2007), es adecuada para medir la sostenibilidad de la cuenca del río Santa Catarina y la sub cuenca del río La Silla, de esta sub cuenca los datos se fueron tomados en cuenta como si ambas fueran una, dado que la suma de ambas cuencas debe ser menor o igual al parámetro de elección el cual es de 2500 km<sup>2</sup>.

Por otra parte fue complicado obtener cierta información de la cuenca sobre todo en los aspectos de inversión económica, Índice de Desarrollo Humano y Producto Interno Bruto, así como los cálculos de las áreas vegetales y urbanas, sin embargo en base a fórmulas y extrapolaciones se logró el cálculo de dichos parámetros, logrando así la evaluación completa del WSI por medio del marco teórico de Presión-Estado-Respuesta, la cual fue de gran utilidad dado que al momento de evaluar los resultados obtenidos, se podía observar de manera tácita la información requerida y el porqué del resultado siendo de gran ayuda para dar una conclusión del parámetro evaluado y para posteriores investigaciones así como las recomendaciones adecuadas para cada parámetro.

El WSI calculado (0.7185), indica una sostenibilidad media mostrando los cuellos de botella en los cuatro parámetros HELP. Para Hidrología en los parámetros de Presión y Estado, indicando la presencia de contaminantes y la ausencia del recurso vital líquido puesto que es de flujo intermitente durante el año, en el parámetro de Medio Ambiente hace referencia a la urbanización y la deforestación de las ANP dentro de la cuenca; para el indicador de Vida aunque es positivo no hay una variación significativa de aumento en el IDH, aun así el valor es superior y se cuenta con un IDH promedio de 0.913 lo cual indica la calidad de vida de los habitantes en la cuenca así como su preparación para poder ser actores sociales en el cuidado de la misma, finalmente el parámetro de políticas fue el más complicado al no obtener información más puntual acerca de la inversión económica en la cuenca lo que dificultó su evaluación puesto que al realizar la investigación de campo solo se encontró con información del tipo periodística la cual ayudó a dar una idea de la situación en cuanto inversión en la misma.

La aplicación de la metodología del WSI es relativamente sencilla y fácil de utilizar tomando en cuenta que se necesita la participación de varios actores en la evaluación del mismo, que puede ser transmitida y aprendida para dar seguimiento a través de los años para constituir normas o leyes de protección, de evaluación de la sostenibilidad de la cuenca, para una adecuada gestión integrada del recurso hídrico.

## **5 AGRADECIMIENTOS**

Al posgrado facultad de ingeniería civil y al centro Internacional del Agua de la UANL por el apoyo brindado a esta investigación.

## REFERENCIAS

- Chaves H.; Alipaz S.; (2006), An Integrated Indicator for Basin Hydrology, Environment, Life and Policy: The Watershed Sustainability Index.(WSI),Water Resour Manage(2007) Vol. 21 pp.883-895.
- Chaves H.; Alipaz S.; (2007), An Integrated Indicator based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. School of Technology, University of Brasilia & Brazilian National Water Agency-AN.
- Chaves H.; (2009). Definición del Índice de Sustentabilidad de Cuencas Hidrográficas-WSI. Organización de las naciones unidas para la educación, la ciencia y la cultura (UNESCO). Taller sobre el WSI, CAZALAC, La Serena, Nov. 2009.
- Chaves H.; (2009), La Sustentabilidad Hídrica e Indicadores Integrados de Cuencas Hidrográficas. [http://www.cazalac.org/documentos/taller\\_WSI/Pres.%201.pdf](http://www.cazalac.org/documentos/taller_WSI/Pres.%201.pdf). (30 de abril de 2011).
- Chaves H.; (2011). Análisis integrado de la sostenibilidad de 6 cuencas HELP de América Latina. Escuela de Tecnología, EFL, Univ. De Brasilia-UnB, Brasilia-DF, Brasil. [http://www.cazalac.org/documentos/simposio\\_help\\_2011/P%20TRAD%20Chaves\\_HELP\\_Panam%E1\\_espanol.pdf](http://www.cazalac.org/documentos/simposio_help_2011/P%20TRAD%20Chaves_HELP_Panam%E1_espanol.pdf)
- Aguilar I.; (2011). Los servicios del agua en el norte de México. Gestión, manejo financiero y aspectos ambientales, editorial el colegio de la frontera norte. Primera edición, octubre de 2011.
- CONAGUA; (2006). Evaluación del Programa Agua Limpia 2005. Evaluado por la Federación de Colegios de Ingenieros Civiles de la República Mexicana, A.C.; Comisión Nacional del Agua. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/PAL2005.pdf> (15 de julio de 2009).
- CONAGUA; (2007). Evaluación del Programa de Agua Limpia 2006. Evaluado por el Centro de Capacitación y Saneamiento del Agua. Comisión Nacional del Agua. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/PAL2006.pdf> (15 de julio de 2012).
- CONAGUA; (2008). Evaluación de consistencia y resultados 2007. Informe final del IMTA, marzo de 2008. Comisión Nacional del Agua. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/PAL2007.PDF> (15 de julio de 2012).
- CONAGUA; (2009). Cultura del agua. Comisión Nacional del Agua. <http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=90bc4a20-b2e8-4f959a0d6fec735516d4%20%20%20%20%20%20CULTURA%20DEL%20AGUA/7/0/0/0>. (18 de agosto de 2012).
- CONAGUA; (2009). Ley de Aguas Nacionales. Extracto para Programa Cultura del Agua. Comisión Nacional del Agua. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/nOTICIAS/EXTRACTOLAN04-CA.pdf> (20 de agosto de 2012).
- CONAGUA; (2009). Manual de procedimientos y operación de programa federalizado Agua Limpia. Comisión Nacional del Agua. [http://www.conagua.gob.mx/CNOAGUA07/Noticias/Manual\\_Agua\\_Limpia\\_Fed2009.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CNOAGUA07/Noticias/Manual_Agua_Limpia_Fed2009.pdf) (18 de agosto de 2012).

- CONAGUA; (2008), Programa Nacional Hídrico 2007-2012, Objetivo 5: Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el mejo del agua y promover la cultura de su buen uso. [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/PNH\\_07\\_07.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/PNH_07_07.pdf) (13 de septiembre de 2011).
- CONAGUA; (2009). Modelo de convenio de coordinación del Programa Cultura del Agua 2009. Comisión Nacional del Agua. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/NOTICIAS/ConvenioPCA2009versiónFINALjulio.pdf> (20 de agosto de 2009).
- PHI – LAC, ( Programa hidrológico internacional de la UNESCO para América latina y el Caribe); (2007) Evaluación Preliminar de la Aplicación y Cálculo del Índice de Sostenibilidad de Cuenca en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. UNESCO.
- UNESCO; (2011), Agua, Boletín semanal del portal del agua de la Unesco n° 122: agua, religiones y creencias. [http://www.unesco.org/water/news/newsletter/122\\_es.shtml#news](http://www.unesco.org/water/news/newsletter/122_es.shtml#news) (consulta realizada en junio 2012.)
- UNESCO; (2011), Programa Hidrológico Internacional. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/ihp/about-ihp/> (consulta realizada en julio 2012.)
- UNESCO; Hydrology for the Environment, Life and Policy (HELP). <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/ihp/ihp-programmes/help>.
- UNESCO; (2011), Programa Hidrológico Internacional para América latina y el Caribe. <http://www.unesco.org.uy/phi/es/areas-de-trabajo/ciencias-naturales/programa-hidrologico-internacional/programas-del-phi/globales.html>
- UNESCO.; (2011), Programa hidrológico internacional; Hidrología, para el Ambiente, la Vida y las Políticas (HELP). Construyendo caminos de conocimiento para un futuro con sostenibilidad Hídrica. Memorias del segundo simposio internacional. Panamá, Republica de panamá 21-24 noviembre 2011.
- UNESCO; (2011), Hydrology for the Environment, Life and Policy (HELP). <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/ihp/ihp-programmes/help/> (consulta realizada en junio 2012).
- PNCM.; (2006). Programa de Conservación y Manejo. Parque Nacional Cumbres de Monterrey. México diciembre 2006. <http://www.conanp.gob.mx/anp/consulta/PCM-20DIC06.pdf>.
- PNUD; (2009). Indicadores de Desarrollo Humano y Género en México 2000-2005. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, (PNUD), México, MMIX.



# PROBLEMÁTICA DE MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA COMUNIDAD DE ZONCUANTLA, COATEPEC, VER.

Eduardo ARANDA-DELGADO, Fernando SOTRES C. y Rolf KRAL S. A.

Asociación de Vecinos del Pixquiac-Zoncuantla, A.C., Zoncuantla, Coatepec, Ver.,  
<http://zoncuantla.org/>, [pixquiac.ac@gmail.com](mailto:pixquiac.ac@gmail.com)

## RESUMEN

Zoncuantla es una comunidad de aprox. 1,500 personas, ubicada en la parte baja de la subcuenca del río Pixquiac (cuenca La Antigua), que recibe la presión habitacional de Xalapa y Coatepec; con la integración de personas de origen urbano, nacional y extranjero, predomina un espíritu ambientalista preocupado por la conservación de sus recursos naturales: el río Pixquiac, su manantial y la zona de bosque mesófilo que lo bordea, con categoría estatal de Reserva Ecológica Restrictiva.

La experiencia de la Asociación de Vecinos, desde 2003, ha estado marcada por el esfuerzo de impulsar la participación social y organización comunitaria para lograr un desarrollo armónico, preservar su entorno natural y estimular la adopción de prácticas sustentables.

En 1993, la comunidad logró adquirir la cesión de un manantial proveniente del municipio vecino, pero la concesión federal fue cedida al Municipio; desde entonces, el principal obstáculo de regulación y ordenamiento ha sido justamente la discrecionalidad del organismo operador. En 2008, la comunidad adquirió 5 Ha de bosque, de parcela ejidal contigua al manantial, que se busca proteger, reforestar y tramitar como *Área Privada de Conservación*.

El río Pixquiac, atraviesa Zoncuantla a lo largo de 4.2 kilómetros y es el vínculo más fuerte de identidad de las distintas colonias asentadas sobre su margen; Desde 2005, con *Global Water Watch*, se monitorea mensualmente la calidad y cantidad del agua del río antes, durante y después de su paso por la comunidad; a pesar de los esfuerzos, se reconoce todavía contaminación difusa, deterioro y disminución del cauce.

Diversos conflictos han sido enfrentados por la comunidad, al proteger su entorno natural frente a intentos de afectar al río, a la zona de reserva ecológica contigua, así como en los casos en los que se pretenden imponer desarrollos habitacionales contrarios al espíritu campestre del lugar.

**Palabras clave:** monitoreo de la calidad del agua, manejo comunitario del agua, conciliación de usos e intereses, disponibilidad y escasez de agua, contaminación y saneamiento, manantiales.

## 1 ZONCUANTLA

Reconocemos por principio, tal como se asienta en el título, que no se puede hablar cabalmente en términos de un real manejo de los recursos hídricos por parte de la comunidad, sino en todo caso, de una problemática variable y compleja existente en la comunidad, con intentos aislados, recurrentes o temporales de lograr racionalizar un manejo, pero que como tarea comunitaria no se llega siempre a cumplir, sino que en todo caso se intenta o se desea, pero no siempre se consigue.

En este sentido, el presente documento puede entenderse como un intento de registrar los distintos componentes y variables que conforman la problemática del manejo de los recursos hídricos de la comunidad de Zoncuantla, que tienen la pretensión de servir como punto de

referencia para lograr un verdadero proyecto o plan de manejo comunitario, colectivo, racional de su capital o patrimonio natural.

Por tal razón, se presentan aquí los distintos frentes o facetas de trabajo de la comunidad, dirigidos por diferentes liderazgos internos, en circunstancias muy diversas y cambiantes, pero que en conjunto conforman un resaltable intento de su comunidad, en su deseo de fortalecer la preservación natural de la zona, de manejar y regular racionalmente el desarrollo y obtener un verdadero ordenamiento ecológico de su territorio.

Como se pretende constatar en este documento, la región de Zoncuantla y sus alrededores es todavía una excepcional región de privilegio, con hermosos parajes, variados y abundantes recursos naturales, pero que a la vez se encuentra cada vez más amenazada y debilitada por el desordenado crecimiento urbano y la voracidad de los desarrolladores de vivienda que especulan la periferia urbana.

La mancha urbana en la región se expande, se conurba y disemina muchas veces sobre los mejores espacios naturales con el falaz argumento, siempre atractivo pero engañoso y contraproducente, de ofrecer a los compradores promesas de nuevos *conceptos* habitacionales, ecológicos, para vivir en “*armonía con la naturaleza*”, “*en medio del bosque*”, ofreciendo una visión romántica, pero equivocada y mentirosa de vivir rodeado de bosque, neblina y biodiversidad...

Este argumento de supuesto desarrollo resulta siempre en un simple discurso que no se cumple ni se pretende cumplir, por simplicidad y ganancia económica, puesto que exige la nivelación, la apertura de caminos, casas e infraestructura de servicios, que siempre terminan por eliminar por completo el espacio natural, desplazando o extinguiendo con su paso, lo que en una entrada monumental publicitan y presumen. A lo más, el espacio natural termina siendo solo pasto, jardines y uno que otro árbol exótico o remanente, retenido por los dueños dentro de los límites de su propiedad. El resto de la biodiversidad de un bosque, ¿dónde queda..? Por supuesto que para la gran mayoría, simplemente, no importa. ...nos referimos a las arañas, insectos, culebras, reptiles, mamíferos, así como el resto de “*bichos indeseables*” que en cualquier circunstancia, la gente no quiere ni cerca ni mucho menos, dentro de sus casas...

En este sentido, este documento pretende servir como denuncia y pretexto para reflexionar y modificar nuestro pretendido desarrollo, nuestro modelo de expansión urbana, que invade sin tregua alguna, los pocos espacios naturales de nuestra geografía local, estatal ...y nacional.

No hay aquí pretensión académica, tampoco de reivindicación social, sino talvez tan solo, de registro para compartir experiencias, que puedan servir a unos de inspiración o incluso a otros, de atención o alerta preventiva.

## **1.1 LA COMUNIDAD DE ZONCUANTLA**

Zoncuantla es una congregación que se encuentra ubicada en el municipio de Coatepec, Veracruz, con una población de aprox. 1,584 personas, 1,840 si se incluyera a la localidad de Briones, (Censo INEGI, 2010), dispersas en un área de aprox. 250 Hectáreas, en un grupo de laderas y valles de la parte baja de la subcuenca del río Pixquiac, en su mayoría en el margen izquierdo del Río Pixquiac. (Ver imagen)





La comunidad se encuentra distribuida entre los km 4 y 7 del recorrido de la *Carretera Antigua Xalapa-Coatepec*, construida en 1938, a través de acentuadas curvas en laderas, para ofrecer a uno y otro lado de la carretera, accesos a la localidad de *Briones*, así como a las colonias de *Plan de la Cruz* y al continuo formado por la secuencia de *La Pitaya*, *Seis de Enero*, *Mariano Escobedo*, para terminar en *El Atorón*, donde Zoncuantla termina y encuentra su colindancia con la congregación vecina de *Consolapa*, que a su vez se encuentra con la cabecera municipal de Coatepec.

Con la construcción en los años 80's de la *Carretera Nueva a Coatepec*, más corta, rápida y de 4 carriles, la carretera antigua fue convirtiéndose en una carretera menos transitada, más lenta, de tipo escénico, con hermosas vistas de Bosque y laderas de cafetales con sombra, que le confieren al lugar una personalidad rural, campestre, con algunas áreas residenciales, pero contrastada con algunas otras de composición socioeconómica mucho más limitada, concentrada y de construcción más básica y hasta precaria. A lo largo de la carretera existen algunos colegios y escuelas privadas, centros deportivos, añadiéndose recientemente algunos más, lo que ofrece también un carácter peculiar al recorrido.

### 1.1.1 Composición social

La población de Zoncuantla está integrada con una mezcla diversa de población nativa de origen rural, conocedora de su relación con el medio natural, intercalada gradualmente con algunas residencias de nuevos habitantes de origen urbano, nacional y extranjero, donde predomina un espíritu ambientalista, de gente integrada, interesada en diversos grados por la conservación y cuidado de su patrimonio natural.

En la comunidad, por alguna razón poco reflexionada, por sus características peculiares, confluyen en Zoncuantla profesionales de muy diversos campos del conocimiento, artistas, músicos,

biólogos, funcionarios, autoridades y gente en general, que especialmente busca vivir fuera del concentrado y ruidoso espacio urbano, en una comunidad sin pretensiones, que tolera los caminos aún sin empedrar o de terracería, pero que disfruta de los espacios abiertos, áreas verdes, las caminatas, las charlas en las calles, los paseos con sus mascotas en el río, en los bosques y veredas cercanas y que valora y defiende un estilo de vida rústico, campestre, de convivencia, armonía e integración social.

La interacción con la población nativa de Zoncuantla, en su mayoría rural, se da en la mayoría de casos en la forma de espacios de trabajo en el servicio doméstico, cuidado de jardines, servicios de construcción, electricidad, fontanería, mecánica, etc. con resultados positivos, que permiten una convivencia armónica y una tolerancia mayor a las diferencias sociales. En muchos casos, aún sin la escolaridad equivalente, es la población original la que mejor conoce, entiende y valora estos recursos naturales, explicando y comprendiendo mejor que los externos, las dinámicas naturales, las interacciones, así como el papel que cada organismo o especie cumple en su medio natural.

Sin que se pretendiera como tal, esta llegada gradual de nuevos vecinos y casas, con gente que aprecia y defiende el lugar, que poco a poco generó un peculiar estilo de habitantes, característica que atrajo tal vez a otros nuevos habitantes y vecinos, al mismo tiempo dio lugar a un aumento considerable en la cotización de los terrenos, mismos que por ejemplo, de venderse en los 90's a \$50.00/m<sup>2</sup> en la actualidad, 20-30 años después, se llegan a comprar y cotizar de \$1,000.00 a \$1,500.00.

### **1.1.2 Relación con poblaciones aledañas**

Existe y se promueve en la comunidad, la compra de productos regionales provenientes de las zonas y comunidades rurales cercanas de Rancho Viejo, Mesa Chica y alrededores, que recorren y abastecen a las casas con verduras, huevo, plantas y frutas; este intercambio se favorece en lo posible, no solo por la calidad de estos productos naturales, sino también por el reconocimiento de la necesidad de ofrecer mejores alternativas económicas a esas comunidades en la zona media y alta de la cuenca, que aportan múltiples servicios ambientales a nuestra comunidad; nos referimos por supuesto al agua, el aire limpio, la vegetación, la captura de carbono, la amortización del clima, el paisaje, la biodiversidad, etc.

### **1.1.3 Su patrimonio natural**

El origen del sentido de pertenencia o de reconocimiento del valor del Patrimonio o Capital Natural de la comunidad, está formado principalmente por tres componentes bien identificados: El río Pixquiac que cruza la comunidad; la serie de empinadas colinas que bordean al río y delimita la comunidad, extremo sur de una zona de remanente de bosque mesófilo que se encuentra catalogada bajo la categoría estatal de *Reserva Ecológica Restrictiva*; y su pequeño sitio Arqueológico ubicado en la cima de una de las colinas cercanas.

El Río y la zona de RER se mencionarán en una sección aparte, por lo cual aquí mencionaremos brevemente lo relacionado con el sitio arqueológico.

### **1.2.4 La zona arqueológica contigua**

Se trata de la existencia de un pequeño sitio cercano, dentro de la zona de Reserva, donde Zoncuantla encuentra sus raíces; se trata de un antiguo asentamiento prehispánico de la cultura Tolteca del periodo postclásico tardío (1220 a 1522 dC.) (*com. pers.* Arqueólogo Mario Navarrete),

dominado por la cultura Náhuatl, de donde le viene el nombre, formado por tres vocablos; *Zontli* (“400” o por extensión “muchos”), *Cuahuitl* (Árbol) y *Tlan* o *Tlantli* (locativo), términos que juntos significan “*Lugar de los muchos árboles*”.

Todavía en la actualidad, es conocido y visitado este sitio arqueológico, en la parte alta del Cerro de los Metlapiles, a un lado del *Paso del Coyote* y el *Cerro del Paxtle*, cruzando el río Pixquiatic al nivel de La Pitaya y subiendo hacia la zona de Reserva hasta llegar a la cima; Desde su base, es posible reconocer indicios de pequeños muretes rústicos de piedra, que bordean un camino de acceso de subida, hasta llegar a un plan, muy nivelado, en la cima del cerro, con alturas cercanas a 1,450 msnm., con algunos árboles de porte menor y bordes de cantil elevados y en caída vertical. Su localización exacta, en coordenadas geográficas es de: N19° 29.744' W96° 57.553'

Se le conoce como *Los Metlapiles* (del Náhuatl *Metlatl*, piedra de moler o metate y *Pil*, que significa pequeño...), por la existencia de varias piedras labradas cilíndricas (40-60 cm de diam. x 1.5-2.5m largo), que asemejan a las manos de los metates, que se encuentran derribadas y dispersas en el lugar, mas algunas otras que han sido indebidamente removidas por particulares para ser trasladadas a otros terrenos cercanos.

Esta zona fue originalmente registrada como sitio ceremonial por el arqueólogo Alemán Carl Wilhem Hermann Strebel (se dice que con el apoyo de Estefanía Salas de Broner, personaje ilustre de Misantla) y dada a conocer en 1885 en su libro *Alt-Mexiko. Archäologische Beiträge zur Kulturgeschichte seiner Bewohner. Hamburg.*, así como en algunas otras contribuciones, reunidas sobre el tema (El México Antiguo, Contribuciones Arqueológicas para la Historia Cultural de sus Habitantes. 1885-1889 Voss, Hamburgo, Alemania).

Con el paso del tiempo, la zona que comprende Zoncuantla se convirtió en fincas agrícolas, cafetales de haciendas y caseríos, que en tiempos de la Revolución dieron lugar a otro registro histórico, por el encuentro violento entre “*Alzados*” refugiados en esa zona, que fueron sorprendidos por “*Federales*” según se dice, un 24 de Junio de 1927, durante la celebración de las fiestas de San Juan Bautista, patrono del lugar; la gente habla de la existencia de fosas comunes en el lugar, pero esto no ha podido ser confirmado todavía.

La comunidad cuenta todavía, en la zona alta de la colonia El Atorón, en el margen derecho del Pixquiatic, con su propio panteón o “*Campo Santo*”, donde es posible encontrar todavía lápidas con registros iniciales que datan los años 1906, 1913, 1918, lo que demuestra no solo la importancia relativa regional de la comunidad, sino también sus antecedentes históricos relevantes.

### **1.1.5 Crecimiento poblacional y habitacional**

Como se puede inferir de la Tabla 1, de información recabada de INEGI (Censos 2000, 2005 y 2010) nos ofrece información directa de la población total existente, mostrando valores de habitantes en cada una de las colonias que conforman Zoncuantla, así como también de las viviendas habitadas en los años 2000, 2005 y 2010. (Tabla 1)

Por su parte, el crecimiento poblacional y habitacional de la comunidad de Zoncuantla también puede reconocerse más intenso, a partir del momento de llegada de la red de agua potable en 1993, lo que puede ser mostrado en términos de la cantidad total de contratos de agua potable (Tabla 2); tenemos registros de una población usuaria en 1996 de 233 contratos, que superó el supuesto nivel máximo aceptable (ver la sección 1.3 de este documento) de 500 contratos en el año 2005 (CMAS-Coatepec, 2004).

**Tabla 1** Población y vivienda de las distintas colonias de la Congregación de Zoncuantla, a través de los años 2000, 2005 y 2010

Congregación Zoncuantla	Población total 2000	No. de viviendas habitadas 2000	Población total 2005	No. de viviendas habitadas 2005	Población total 2010	No. de viviendas habitadas 2010
<i>La Pitaya</i>	289	87	347	101	389	131
<i>Mariano Escobedo</i>	327	105	551	147	561	163
<i>Seis de Enero</i>	233	77	297	81	333	110
<i>Plan de la Cruz</i>	208	58	239	66	253	76
<i>El Atorón</i>	32	6	43	12	48	13
<b>TOTAL</b>	<b>1,089</b>	<b>333</b>	<b>1,477</b>	<b>407</b>	<b>1,584</b>	<b>493</b>

**Tabla 2** Cantidad de contratos de agua potable registrados por la Comisión de Agua Potable y Saneamiento de Coatepec, Ver. en el periodo comprendido entre 1996 y 2005

AÑO	CANT. TOMAS	AÑO	CANT. DE TOMAS
1996	233	2001	422
1997	294	2002	430
1998	376	2003	442
1999	385	2004	459
2000	399	2005	512

### 1.1.6 Presión habitacional de Xalapa y Coatepec

A partir del Decreto de Conurbación de Xalapa-Banderilla-Coatepec-Emiliano Zapata-Tlalnelhuayocan (Gaceta Oficial de Estado No. 84, del 13 de julio de 1991), junto con la *Actualización del Programa de Ordenamiento Urbano de la Zona Conurbada Xalapa-Banderilla-Coatepec-Emiliano Zapata- Tlalnelhuayocan*, aprobado por la Comisión de Conurbación en fecha 30 de enero de 2004, publicado en la Gaceta Oficial del Estado el 19 de Marzo de 2004, la región intermedia y zonas aledañas a las poblaciones de Coatepec y Xalapa, reciben gradualmente una mayor presión habitacional, por la autorización de nuevos fraccionamientos en donde antes existían cafetales, así como centros comerciales, centros escolares que por supuesto demandan cada vez más intensamente abastecimientos de agua, que son atendidas mediante derivaciones del agua de los ríos, en las zonas altas donde todavía la contaminación no alcanza a causar sus efectos.

### 1.1.7 ¿Zoncuantla es una congregación?

Solo resta aquí incluir un concepto mas, que tiene relevancia para la comunidad y para la determinación de la correlación política de la comunidad de Zoncuantla y que poco se reconoce y se

valora; es la relacionada con la catalogación histórica de Zoncuantla como Congregación, pero que por alguna causa no conocida, fue omitida, olvidada o borrada de la lista de Congregaciones en un cambio de periodo del Gobierno Municipal, lo que hasta ahora no ha sido restituido; esto podría parecer irrelevante en términos de una clasificación geográfica, pero debe entenderse también en términos de la consiguiente disminución de peso en la negociación presupuestal dentro del llamado Consejo de Desarrollo Municipal, en donde todas las congregaciones tienen un representante o Agente Municipal, para decidir las obras y repartir el presupuesto anual, pero Zoncuantla perdió ese lugar por haberse dividido su territorio en 3 Sub-Agencias Municipales, que ni solas ni aglutinadas tiene participación en dicho Consejo.... El caso es que con o sin esto, la gente de Zoncuantla y a veces también las propias autoridades, hablan de la comunidad de Zoncuantla como una Congregación, pero en la formalidad legal, desde la administración Municipal, su nombramiento como tal en la actualidad, dejó de ser registrado... ¿Cual es la razón..?

## 1.2 EL RÍO PIXQUIAC

El río Pixquiac merece una mención aparte en el Patrimonio cultural de Zoncuantla, ciertamente porque puede considerarse como el vínculo más fuerte de identidad y pertenencia de las distintas colonias de Zoncuantla asentadas sobre su margen.

El término Pixquiac, proviene igualmente del Náhuatl, *Pixquitl*, como en pisar, que significa cosecha, y *Atl* que significa agua, por lo que la palabra Pixquiac puede entenderse como *Cosecha de Agua*.

### 1.2.1 Información general de la cuenca

El Pixquiac se considera una subcuenca, como parte de la Cuenca de La Antigua y se origina en la falda sur oriental del Cofre de Perote, a los 3,700 msnm, para terminar en 1,040 msnm, en la confluencia con el río Sordo, con una longitud total de 30.27 km y un gradiente altitudinal de 2,660 metros, que explica una alta diversidad ecológica con diferentes tipos de vegetación y fauna, y en consecuencia, de usos de suelo asociados (Paré y Gerez, 2012).

Los mismos autores señalan una población total en el área de la cuenca de 7,827 personas de las cuales 3,144 son rurales y 4,683 semi-urbanos y urbanos. Así mismo, calculan que aún se conserva en 2012, una cubierta forestal cercana al 70% del total de la superficie y solo 30% destinado a actividades agropecuarias o vivienda.

Existe una gran cantidad de información y estudios disponibles, en su mayoría realizada por el equipo *SENDAS,A.C-UNAM*, que con financiamientos variados del *Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología COVECYT*, del Programa de Apoyo a *Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica*, *PAPIIT de la UNAM* y otras fuentes, han desarrollado estudios en la subcuenca del Pixquiac de zonificación de la vegetación, del uso de suelo, balance hídrico, captación, evapotranspiración, infiltración, paisaje, cobertura, fragilidad, además de otros estudios sociales orientados a ofrecer alternativas productivas, de compensación por los servicios ambientales, así como de fortalecimiento de las actividades productivas sustentables. Esta información puede conocerse a través de la publicación del libro *Al filo del agua, cogestión de la subcuenca del río Pixquiac* (Paré y Gerez, 2012)

### 1.2.2 Afluentes en el área de estudio

Poco antes de llegar a Zoncuantla, al Pixquiac se le unen las aguas del Xocoyolapan mas el Agüita Fría, en la zona conocida como la Vega del Pixquiac, en donde por su aguas templadas, se localizan criaderos de Trucha arcoiris, que convertidos a restaurantes, ofrecen alternativas económicas a esta región y determinan también un potencial ecoturístico recientemente explorado.

El rio Pixquiac atraviesa la comunidad de Zoncuantla a lo largo de 4.22 kilómetros, en un gradiente de aproximadamente 104 metros de desnivel, proveniente del Municipio de San Andrés Tlalnelhuayocan, para entregarse más abajo, donde termina la comunidad de Zoncuantla e inicia la Congregación de Consolapa.

Dentro de la comunidad de Zoncuantla, se le une un pequeño afluente conocido como el arroyo Tixtla, (puede significar *Arroyo de las Tierras Negras*, como *Tixtlihuic*, negro o tierras negras) que nace pocos kilómetros antes, en el municipio de Tlalnelhuayocan, justamente en el llamado “*Ojo de Agua*”, manantial donde la comunidad de Zoncuantla se abastece de agua potable. El Tixtla pasa previamente por la colonia Cuauhtémoc, de la Congregación de Consolapa, región dentro de la Zona de Reserva, en donde recientemente se han venido eliminando parcelas boscosas por reconvertirlas en parcelas agrícolas en renta para la producción intensiva de papa.

### 1.2.3 Afectaciones por el crecimiento habitacional

Entre el Patrimonio o Capital Natural de la Comunidad de Zoncuantla, son sus bosque y sus cuerpos de agua, los que más se afectan y se perturban por efecto del crecimiento poblacional; la carretera, los caminos, la obstrucción de bardas, los perros y los gatos domésticos toman cuenta del atropellamiento y muerte de fauna silvestre (cacomixtles, tlacuaches, ardillas, armadillos, comadrejas, serpientes, aves, etc.); el corte de árboles, para la obtención de madera y leña, la pérdida y el corte de arboles jóvenes para obtención de varas rectas o *garrochas*, postes o polines, la eliminación de arboles de gran porte que se derriban por *amenazar la seguridad* de construcciones cercanas, o incluso por el simple hecho de generar hojarasca o “*gotera*”, agua y humedad que permanece y molesta a algunas personas en los caminos, horas después de las lluvias...

En el caso del río, las perturbaciones son equivalentes, derivadas del deseo de habitar, delimitar y convertir en espacio privado su colindancia hasta el justo borde del río, eliminando arboles que reducen la entrada de sol, producen hojarasca o impiden la vista abierta, que en muchos casos se sustituye por espacios de pasto o jardín con vegetación exótica ornamental, veredas, escalones, pisos de piedra o concreto, etc. que se combina también con la construcción de cajas para la ubicación de bombas de extracción de agua para riego doméstico, abasto domiciliario alterno, o en el sentido inverso, para arrojar y deshacerse de desechos, aguas servidas, jabonosas, hojarasca, basura diversa, etc. Todo esto va quedando registrado obstruyendo la zona de ribera del río, en la forma de muros, paredes, contrafuertes, mallas metálicas o posteadas con alambre de púas, que impiden en todos los casos el libre tránsito y la circulación de personas y fauna silvestre por sus márgenes.

De esta forma, poco a poco con el paso de los años, el acceso y circulación hacia los bordes del río, va quedando restringido, limitado, obstruido por la construcción de nuevas casas, todas ellas dando frente a la calle y dejando las espaldas hacia el río, ofreciendo con esto una vista desde el cauce poco atractiva o en el mejor de los casos ajardinada y delimitada en su acceso; el resultado

para la comunidad es un acceso al río que solo puede darse en los pocos casos en donde existen cruces de puentes colgantes o *hamacas*, y vados o puentes de concreto para el paso vehicular.

#### **1.2.4 Limitaciones de acceso y circulación**

En el caso específico del Pixquiac-Zoncuantla, existen los siguientes cruces, enlistados de río abajo hacia arriba: el puente de El Atorón (vehicular) de concreto y metálico, el puente de concreto que da acceso a la Esc. Simón Bolívar (peatonal) y el vado de cruce de piedra; el puente de bambú y tubular metálico, para cruce exclusivo de la misma escuela; el de la col. Mariano Escobedo de concreto, el puente bajo de concreto “*Toño Reducindo*” de la col. Seis de Enero, mas el puente colgante contiguo, recién reparado en 2013; el puente colgante rústico detrás de lo que fue la primera Escuela en La Pitaya (después jardín de niños, enfermería, agencia mpal. y caseta de policía montada); el puente de concreto de *La Higuera* y el *Vado de las Monjas* en concreto, junto con un Puente colgante contiguo. Fuera de estos cruces, existe ya un acceso limitado hacia el río, incluso en lugares o parajes atractivos del río como la *Poza de la Tortuga*, que tiene limitado su acceso por el cierre de la puerta de entrada del *Fracc. El Secreto*, con el argumento de su seguridad y la molestia que les ocasiona el paso frecuente de visitantes.

Por otra parte, existen al menos tres puntos del Río Pixquiac, en la zona de Zoncuantla, en donde existe grietas y resumideros en el cauce por donde el agua del río se pierde o se escapa, siendo en los 3 casos, tramos en el cauce con afloraciones de roca de piedra caliza que interrumpen la regularidad del lecho del río, formada en su generalidad por “piedra bola” de todos tamaños, de roca azul volcánica, más común y característico de este río (Rossignol, 1987).

Esta pérdida de agua del Pixquiac no es notoria ni preocupante durante la época de lluvias por el nivel suficiente de agua, pero durante el estiaje, que el nivel del río se reduce, se convierte en motivo de preocupación de la gente de las colonias río abajo (Mariano Escobedo), que han llegado incluso a realizar faenas o jornadas, para tratar de modificar el poco cauce del río hacia el costado contrario de la grieta, para evitar que la poca agua termine escapándose totalmente, dejando el río Pixquiac sin agua... esto, lo que ha llegado a motivar conflictos o discusiones abiertas internas, entre los vecinos de río abajo que deciden intervenir el lecho del río y vecinos locales quienes exigen que esto no se realice sin el conocimiento, intervención o autorización formal de la CONAGUA.

#### **1.2.5 Disminución gradual del volumen del cauce**

Un tema aún más conflictivo al paso de los años, es el provocado por la disminución gradual del caudal histórico del Pixquiac, que nunca antes hasta el fuerte estiaje del año 2009, tuvo por primera vez en la historia registrada, un periodo de completa ausencia de agua en su cauce, que iniciaba desde el nivel de la Pitaya, en el tramo conocido como “la grieta” y “*La Poza de la Tortuga*”, donde la poca agua se perdía entre las rocas, hasta varios kilómetros abajo, fuera del área de Zoncuantla, en el extremo sureste del municipio de Coatepec, en el llamado “*Puente del Diablo*” en la comunidad de Puerto Rico-Las Lomas, donde se le unen al río Pixquiac, las aguas fuertemente contaminadas del Río Sordo provenientes de la zona urbana suroeste de Xalapa. Este periodo de completa sequía en el cauce del río se repitió nuevamente aunque con menor duración, en el año 2011, que también el cauce del río estuvo total y completamente seco.

En la sección 1.7 se vuelve a tocar este tema del cauce seco del río Pixquiac-Zoncuantla, pero desde la perspectiva de la oportunidad que ofreció a la comunidad, de poder recorrer caminando su

lecho, para llevar a cabo una Jornada de Evaluación y Limpieza del Pixquiac, evento que fue dado a conocer como "JELP".

### **1.2.6 Un río en veda**

Motivado por los escasos de Agua en Xalapa de los años previos, el 22 de Octubre de 1955 se decreta la veda del Río Pixquiac, el documento dice así:

*ACUERDO que declara veda por tiempo indefinido para el otorgamiento de concesiones para el aprovechamiento de las aguas de los ríos Pixquiac, Xuchiapan y Huehueyapan, en Coatepec, Ver.*

*Considerando que la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado ha solicitado la veda para tramitación de solicitudes para el aprovechamiento de las aguas de los Ríos Pixquiac, Xuchiapan y Huehueyapan, que corren en el municipio de Coatepec, del estado de Veracruz, declaradas de propiedad nacional del primero del tres de diciembre de 1917 según resolución publicada en el "Diario Oficial" el 18 de Octubre del mismo año, del segundo el 18 de Junio de 1923, cuya resolución fue publicada en el mismo órgano oficial el 21 del mes siguiente, y del último el 11 de enero de 1936, cuya resolución se publicó el día 22 del mes siguiente.*

*Que para prevenir el abastecimiento de agua potable para la población de Xalapa, municipio del mismo nombre, del estado de Veracruz, no sufra perjuicio, es necesario que no se alteren las condiciones hidráulicas que actualmente prevalecen en las citadas corrientes, por lo tanto expido el siguiente*

#### **ACUERDO**

*PRIMERO.- se declara por tiempo indefinido la veda para el otorgamiento de concesiones para el aprovechamiento de aguas de los ríos Pixquiac, Xuchiapan y Huehueyapan, que existen en el Municipio de Coatepec, en el estado de Veracruz."*

*SEGUNDO.- Publíquese en el Diario Oficial de la Federación.*

Este decreto se mantuvo vigente durante 57 años, pero por petición expresa del Gobierno del Estado de Veracruz, durante el anterior periodo de Fidel Herrera Beltrán, tomando como bandera la petición de modificar la veda para autentificar la actividad de crianza de la trucha, solicita a la *Secretaría de Recursos Hidráulicos*, a cargo del Ing. José Luis Luege Tamargo, la realización de lo que se conoce como *Estudio Técnico Justificativo*, que en fechas recientes se expidió, concluyendo lo siguiente:

*..Los decretos de veda para el aprovechamiento de las aguas superficiales para la Cuenca Hidrológica Río La Antigua, expedidos en 1935 y 1955, aún siguen vigentes y los objetivos de su existencia se han cumplido, por lo que se propone la modificación de las vedas para permitir concesiones para los usos no consuntivos acuícola, generación de energía eléctrica, recreación, turismo u otros, los cuales no alteran la cantidad del agua en la cuenca, ya que éstos usos regresan la totalidad de los volúmenes a la misma. Así como para el uso público urbano, en la medida que la disponibilidad de ésta cuenca hidrológica lo permita, y sin deteriorar el equilibrio hidrológico y ambiental en la misma.*

*Por lo anterior, se sugiere proponer al Ejecutivo Federal:*

2. Reformar la veda establecida mediante el "*ACUERDO QUE DECLARA POR TIEMPO INDEFINIDO LA VEDA PARA EL OTORGAMIENTO DE CONCESIONES PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS DE LOS RIOS PIXQUIAC, XUCHIAPAN Y HUEHUEYAPAN QUE EXISTEN EN EL MUNICIPIO DE COATEPEC DEL ESTADO DE VERACRUZ*", publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el día 22 de Octubre de 1955, con el objeto de prevenir que el abastecimiento de agua potable a la población de Xalapa, municipio del mismo nombre del Estado



*de Veracruz, no sufra perjuicio, de tal forma que permita la asignación y concesión de volúmenes de aguas nacionales superficiales para los usos doméstico, público urbano y no consuntivos en dicha porción de la Cuenca Hidrológica Río La Antigua.*

*Dado en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los nueve días del mes de diciembre de dos mil once.- El Director General, José Luis Luege Tamargo.- Rúbrica*

[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5227830](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5227830)

Fue la actividad trutícola regional, establecida irregularmente en el Pixquiac en veda, la que sirvió como excusa principal para justificar la modificación de veda, promovida por el gobierno del Estado en la administración pasada de Fidel Herrera; sin embargo el trasfondo resultó en la concesión de construcción de Presas para la generación de energía eléctrica con inversión privada extranjera.

Este tema ha generado amplia controversia y resistencia social regional, pues pocos años antes, la misma administración estatal promovió a nivel nacional la actividad eco-turística en esta misma zona, empresas de rafting o descenso en ríos, que ahora sienten fuertemente amenazada su existencia por la instalación de las presas.

### **1.3 EL MANANTIAL QUE SURTE DE AGUA POTABLE A LA COMUNIDAD**

Durante muchos años, antes de los 80's, la población local de Zoncuantla se abastecía del río Pixquiac, de pozos artesianos o de captación de agua de lluvia sobre los techos (principalmente las familias que en los 70's empezaron a llegar de fuera y habitar sus casas solo en fines de semana o por temporada).

En la zona cercana a la colonia Plan de la Cruz, la gente se abastecía de un pequeño manantial y su caja de agua, de la cual se surtían las casas cercanas a través de mangueras individuales de plástico, administradas por el Sr. Don Froylán Caballero, en ese entonces vecino encargado por la *Comisión Estatal de Agua*, CEA del Estado, quien cobraba una cuota anual y otorgaba permisos de manera informal; cada propietario se hacía cargo de su conexión, su reparación o sustitución, pero con el paso del tiempo, la profusión de mangueras lastimadas, entremezcladas y a flor del suelo, empezaron a generar la urgencia de resolver la situación de manera mas amplia, general y suficiente.

#### **1.3.1 Obtención del manantial**

Durante años, los habitantes de la comunidad de Zoncuantla trataron de localizar fuentes de abastecimiento alternas en la región; en mayo de 1984 se conforma un Patronato Pro-Obra de la Congregación de Zoncuantla que se organiza para lograr la firma de un ejidatario que acepta ceder una fuente de agua segura para la Congregación: un manantial denominado Ojo de Agua, aprox. a 4 Km en línea recta hasta Zoncuantla, ubicado en la parcela ejidal *Los Arados* del Sr. Pedro Domínguez y su hijo Gregorio Domínguez Acosta, ejidatarios del *Ejido San Antonio Hidalgo* en el municipio de San Andrés Tlalnelhuayocan, municipio colindante con Zoncuantla, Coatepec. En esa fecha, se logra obtener un escrito de aceptación, firmado por el hijo del propietario, aceptando esta donación del manantial, específicamente para dotar de agua potable a las 5 colonias que conforman la comunidad de Zoncuantla.

Sin embargo, para lograr legalmente el permiso de cesión del poseedor de la parcela del manantial, se requería también la aprobación del ejido y de la propia Municipalidad de Tlalnelhuayocan, quienes no estaban dispuestos a otorgar este manantial sin un acuerdo de mutua conveniencia. El tema se complicó con la intervención de la comunidad, pues tuvieron que transcurrir otros 9 años más, durante los cuales la comunidad de Zoncuantla se unió y cooperó para compensar al propietario, así como al ejido y al municipio para que se realizara obra pública a su favor; el convenio final de aceptación fue firmado por las tres partes en Octubre de 1993.

Sin embargo, por la falta de una figura legal que diera validez jurídica al Patronato Pro-Obra conformado en Zoncuantla, en una reunión celebrada en octubre de 1994, se terminó aceptando que la concesión federal del Manantial fuera cedida al Mpio de Coatepec, quien a cambio conduciría las obras de conducción y la red de abastecimiento. La línea de conducción de agua, así como también los trabajos de introducción de la Red de Distribución en las colonias y casas de la comunidad de Zoncuantla entre 1992 y 1996, fue financiada en su gran mayoría por la cooperación solidaria de los vecinos de la congregación

### **1.3.2 la Concesión Federal**

Como se mencionó antes, la Concesión Federal fue concedida al Municipio de Coatepec, Ver. el 11 de Octubre de 1994, por 4.0 l/seg, 24 horas del día, 365 días del año (123,840.0 metros cúbicos anuales) por tiempo indefinido, así como también establecido que se otorgaba para una dotación máxima reconocida de 500 tomas y exclusivamente para la comunidad de Zoncuantla.

La comunidad aceptó igualmente que primero la CEA y después la *Comisión Municipal de Agua y Saneamiento* (CMAS-Coa) de Coatepec, administrara la red de agua en la comunidad, lo que implicó para todos los usuarios, tanto nuevos como los iniciales, el pago de contratación respectivo, así como también la necesaria instalación de medidores, aunque esto había sido inicialmente reconocido como innecesario.

Desde entonces sin duda es posible asegurar que el principal obstáculo de regulación y ordenamiento ha sido la discrecionalidad por parte de los directivos del organismo operador que sin el reconocimiento de la necesidad de regular la dotación racionalmente, ha extendido la red fuera de la zona de abasto acordada y no se detiene de seguir aumentando la base de usuarios, sin invertir en infraestructura necesaria ni establecer un límite a la sobreexplotación actual del manantial; en este momento (abril de 2013) sabemos de la existencia de al menos 567 contratos de agua potable, más un número todavía desconocido para nosotros, de casas sin contrato y tomas clandestinas en sitios donde la línea de conducción pasa entre o cerca de algunas propiedades.

### **1.3.3 Acuerdo de regulación comunitaria de las contrataciones de agua potable**

Desde el año 2004 el *Comité de Agua* de la Asociación no ha dejado de presionar a la CMAS-Coatepec de que reduzca y frene la dotación de contratos de agua pues la explotación rebasada ya las 500 tomas autorizadas (sin contar las clandestinas existentes) y protestar ante el municipio que esta dependencia siga otorgando contrataciones nuevas. Afortunadamente, en reunión celebrada en enero de 2007, en reunión celebrada con la directiva de CMAS-Coa., el Comité de Agua logra establecer un Acuerdo para el establecimiento de un procedimiento de control y regulación comunitario, mediante el cual se establecen los criterios que los vecinos solicitantes deben de cubrir para que les sea otorgado el *Visto Bueno* de la Asociación, aceptado como requisito previo a la contratación por parte de la CMAS-Coatepec.

Los criterios que se piden eran simples, pero que antes no se verificaban ni pedían por la CMAS; reconocimiento del origen histórico de la obtención del manantial Ojo de Agua, la captación domiciliar de agua de lluvia, instalación de cisterna, separación de aguas grises y negras, instalación de digestores o fosa séptica, firma de conformidad a la *Declaratoria de la Comunidad* y el reconocimiento y participación a los objetivos de la Asociación.

Este acuerdo se esfumó con la entrada de la nueva administración municipal siguiente y solo esporádicamente se reconoce por parte de CMAS; Actualmente se logra aplicar en solo unos pocos casos, pero se omite cuando el organismo operador le resulta conveniente.

#### **1.3.4 Insuficiencia de capacidad de almacenamiento**

Una problemática adicional es la provocada por la existencia de un tanque de almacenamiento insuficiente de tan solo 50m<sup>3</sup>, que durante las noches rebosa el agua y la desvía como demasías fuera de la comunidad, mientras que resulta insuficiente durante el día para abastecer a las casa durante las horas pico de consumo, lo que obliga en ciertas temporadas, al tandeo y la regulación muy cuidadosa de presiones, por parte del encargado del mantenimiento de la red, quien verdaderamente hace una magnífica labor para mantenerla en funcionamiento.

Desde hace 5 administraciones municipales, año con año, se solicita la aprobación de un tanque adicional de almacenamiento de agua de mayor capacidad (150 m<sup>3</sup>) y talvez sea hasta el fin de este periodo Municipal 2011-2013 que dicha obra finalmente se autorice y pueda resolver este problema simple de almacenamiento eficiente de agua.

#### **1.3.5 El Manantial está reduciendo su descarga**

Problema más complejo es que el surtimiento de agua de dicho manantial pueda gradualmente disminuirse y terminar más adelante talvez con agotarse; no existen datos históricos que lo demuestren, pero visualmente se reconoce un caudal menor y una más clara diferencia estacional; esto por supuesto debe ser registrado y respaldado con información concreta, que permita al menos valorar las perspectivas.

Cuando la comunidad logró obtener dicho manantial en 1993, la CONAGUA no registró en la concesión federal el gasto total de descarga (probablemente en un valor entre 15-20 pulgadas), sino solamente la concesión para aprovechamiento público urbano del volumen de consumo ya señalado de 4.00 l/seg; esto implica la necesidad impostergable de monitorear no solo que se cumpla el aprovechamiento concesionado (o se actualice si es mayor), sino que se conozca fielmente, la descarga total del manantial de manera frecuente y sistemática.

La comunidad no pretende aumentar el abasto de agua, sino tan solo garantizar su abasto a largo plazo, porque entiende que si se amplía el abasto hacia Zoncuantla, las autoridades municipales o la CMAS podrían querer liberar igualmente un crecimiento habitacional aún mayor para toda la zona cercana.

#### **1.3.6 la zona de recarga está perdiendo cobertura boscosa**

No tenemos información certera de la zona de recarga de este manantial, sin embargo se reconoce la importancia de la cobertura boscosa en la región y la necesidad de apoyar las iniciativas de pago por servicios ambientales hidrológicos, así como las alternativas productivas sustentables y adecuadas para mantener esta función en la cuenca, tarea que ha sido fuertemente trabajada por el *Comité de Cuenca del Pixquiac* y apoyada en lo posible por nuestra comunidad (Paré y Gerez, 2012).

El problema más severo a resolver en estos últimos años, es al parecer, la eliminación de muchas parcelas que todavía tenían bosque, para convertirlas en parcelas agrícolas, que están siendo rentadas para el cultivo intensivo de papa, con el consiguiente uso de pesticidas, fertilizantes químicos, así como seguramente, un cambio drástico en su capacidad de captación de agua hacia los mantos freáticos y la retención del suelo.

### **1.3.7 Mal diseño de la caja captadora**

El punto de salida del manantial se encuentra en el fondo de una cañada, justo a unos metros en donde inicia el arroyo Tixtla que se une al Pixquiac en la Pitaya, Zoncuantla. La ubicación del manantial en el terreno se encuentra muy cerca del nivel del suelo, pero analizando el terreno contiguo, existía la posibilidad de instalar una caja de captación en un nivel más bajo; en cambio la caja de captación fue a nuestro parecer equivocadamente construida por la CMAS, justo en el punto de salida, lo que motivó tal vez a que la caja se construyera sin piso de concreto, sino solamente con sus paredes enclavadas en el suelo, además de tapada con una losa de concreto sin mayor utilidad. El diseño considera un tramo de tubo de 4 pulg. hacia una caja rompedora de presión de aprox. 1 m<sup>3</sup> y una válvula de paso, de la cual se inicia la línea de conducción hacia Zoncuantla.

El resultado fue que años más adelante, con la presión de aprox. 50 de altura agua retenida, empezara a infiltrarse un poco de agua por debajo de una de las paredes laterales, escapando agua de la caja y reduciendo la necesaria captación, lo que hizo necesario más adelante, construir una segunda pequeña represa lateral, de la cual se colocó un segundo tubo de 3 pulg. para compensar la disminución de abasto del primer tubo.

La lección parece que no fue bien comprendida, porque justamente en este último mes de 2013, la misma CMAS acaba de construir una segunda pequeña represa lateral así como un tercer tubo, que prácticamente sustituye al tubo original de la caja captadora, la cual casi ya no abastece nada de agua desde allí, sino que todo se le escapa.

Esto en sencillas palabras implica la necesidad de rediseñar una nueva caja captadora, para sustituir a la existente que ya no es para nada funcional; el problema estriba en obtener la aprobación del ejidatario poseedor de la parcela, quien quisiera desconocer el acuerdo de su padre y la concesión federal, para recuperar el control de ese manantial a favor de su ejido, que años después de haber aprobado la cesión para Zoncuantla, ahora se encuentra también necesitados de mayores fuentes de agua potable en sus comunidades.

## **1.4 LA ASOCIACIÓN DE VECINOS**

### **1.4.1 Antecedentes de organización en la comunidad**

En enero de 1991 vecinos de las distintas colonias que conforman Zoncuantla, junto con algunos de Briones convocan a la conformación de una *Unión de Patronatos para la Protección de Medio Ambiente* de la región Xalapa-Coatepec. En una reunión con la Jefa de la *Unidad de Planeación* de la *Secretaría de Desarrollo Urbano de Xalapa*, se informa que esta zona está incluida en una superficie de 20,000 Has. que rodea la mancha urbana Xalapa-Banderilla y que ha sido incluida como zona de Reserva Ecológica. (*Gaceta Oficial* 8 de septiembre de 2000).

La Unión define una serie de Programas de vigilancia, de conservación, de agua potable y drenajes, de basura y desechos y de protección al paisaje natural. Entre 1992 y 1993 entre varios

miembros de la Congregación y zonas aledañas se conforma la asociación civil *Marangola, A.C.* que intervendrá más adelante en varias de las luchas e iniciativas ciudadanas regionales, entre las que destaca el cierre del basurero a cielo abierto en El Atorón (desde 1989 hasta 2003); en contra de un proyecto en los 90's que pretendía pasar líneas de alta tensión por el valle de La Pitaya, así como especialmente la lucha contra el proyecto de libramiento sur de Xalapa, lo que implicó también una lucha regional de aprox. 15 años (de 1989-2004). Después de esta última lucha social intensa, la actividad de esa agrupación disminuyó, pero algunos de sus miembros consideran que la actual AVP-Z, es una derivación y renacimiento de aquella.

Por su parte, durante los años previos a la creación formal de la Asociación de Vecinos, entre 2001 y 2004, se dieron importantes avances en la organización comunitaria interna y la interlocución con las autoridades municipales, en la forma de *Comités Comunitarios de Obras*, que dieron lugar a la mejora de la iluminación de las calles, la recolección eficiente y programada de basura, así como la aprobación de recursos para la realización de un estudio y proyecto general de diseño de las calles en la comunidad. Lo novedoso de este estudio estriba en que tuvo como objetivo primordial el diseño de empedrados con pendiente hacia una cuneta central, para el movimiento eficiente de las aguas pluviales en las calles hacia el río Pixquiac, favoreciendo a su vez la apropiada circulación peatonal lateral, en áreas de rodapié de piedra caliza, sin banquetas. Este estudio derivó en la realización de varias obras de empedrado en la comunidad en 2002 (calle López Mateos; Mariano Escobedo entre calle 1 y Aldama; y Mariano Escobedo entre las Hayas y L. Escondida), y en 2004 (Calle Aldama; y Loma Escondida entre L. Mateos y Cuauhtémoc) y sentó un precedente en el diseño de empedrado que se ha reproducido en otras comunidades. Integrantes de estos Comités consideran también la creación de la AVP-Z como un paso adelante de esa organización.

Un ingrediente adicional de su formación es también el grupo de pobladores que fundó en los 80's la colonia Mariano Escobedo, integrantes del movimiento urbano popular UCISVER, quienes consiguieron terrenos a la orilla del río y desde su establecimiento en el lugar mostraron una gran preocupación por preservar el entorno. La organización *Pobladores A.C.* es la que actualmente opera y pugna por la adopción de prácticas amigables para el medio ambiente y un ordenamiento de la colonia; algunos de sus miembros también participan con la AVP-Z, por lo cual también se consideran un ingrediente importante en su creación.

#### **1.4.2 Creación de la Asociación de Vecinos**

La *Asociación de Vecinos del Pixquiac-Zoncuantla, A.C.*, fue creada formalmente en junio de 2004, con la participación de un pequeño grupo de vecinos, marcada por el esfuerzo de la participación social y la organización comunitaria para lograr un desarrollo habitacional armónico, preservar el entorno natural y fortalecer la adopción de prácticas sustentables en la comunidad.

Sus principios básicos y objetivos pueden resumirse con la declaratoria siguiente:

*“... pretende el sano desarrollo del lugar, que se encuentra enclavado en una área natural, con un río de agua limpia, rodeada de bosques, mismos que la experiencia ha demostrado que subsisten bajo un delicado equilibrio ecológico y es por ello que se requiere un compromiso primordial de tipo incondicional por parte de los habitantes y de las autoridades para conservar las áreas naturales con la menor afectación e injerencia posible dentro de ellas.*”

*Pretendemos que la comunidad que habita en la zona de influencia de la Comunidad de Zoncuantla pueda disfrutar de salud, belleza natural y bienestar, respetando la naturaleza, así como a los demás miembros de la comunidad según los ordenamientos vigentes y los que de este esfuerzo común se deriven". (Declaratoria de la AVP-Z)*

### **1.4.3 Planes y programas de trabajo**

De esta forma, la AVP-Z establece los siguientes Planes o Programas básicos de trabajo:

- 1.- Recuperación de Zoncuantla a la categoría de Congregación.
- 2.- Agua, Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable.
- 3.- Tratamiento y manejo de desechos Sólidos.
- 4.- Tratamiento y Manejo de las Aguas Servidas.
- 5.- Protección y Cuidado del Río Pixquiac.
- 6.- Obras Públicas, construcción y uso del Suelo.
- 7.- Seguridad y Vigilancia.

Cabe señalar la necesidad de organizar diferentes Comités de Trabajo, entre los cuales destaca el *Comité de Agua y Recursos Naturales* que ha sido el más activo, definiendo los siguientes Programas de trabajo:

- Monitoreo comunitario del río Pixquiac y sus afluentes.
- Plan de reforestación y servicios ambientales con las comunidades de Rancho Viejo y Ejido San Antonio, en San Andrés Tlanelhuayocan.
- Preservación ecológica del entorno del Manantial Ojo de Agua.
- Regulación y uso sostenible de la zona federal del Río Pixquiac.
- Diagnóstico del abasto y consumo de agua en Zoncuantla.
- Demarcación y estudio geo-hidrológico de la micro-cuenca del Ojo de Agua.
- Educación ambiental y participación social de sus habitantes.
- Gestión, participación e intervención ciudadana en el Comité de Cuenca del río Pixquiac.
- Diseño de políticas públicas del consumo racional y distribución del agua.
- Normatividad y legislación para el uso y consumo racional del agua.

Más adelante en las siguientes secciones, se señalan algunos avances o propuestas en estos temas.

### **1.4.4 Formas de comunicación y difusión en la comunidad**

Al inicio de las actividad de trabajo comunitario, el instrumento básico de comunicación lo fue la elaboración de Boletines, medias hojas carta fotocopiadas, que se repartían y distribuían en las casas, como un medio de hacer llegar los planteamientos y propuestas a la comunidad. De igual forma, el teléfono sirvió durante esos primeros años de organización, como un medio personalizado con el cual mantener y compartir la información de interés para la comunidad.

Se logró la donación por parte de una empresa cuyo propietario es vecino de la comunidad, la instalación de 3 tableros de madera tratada, para la colocación de anuncios, reportes, boletines, mas la ocasional presencia de publicidad local.

Sin embargo, con la ampliación de la red telefónica local y la llegada del servicio de internet, pronto se convirtió en el medio más popular, extenso y efectivo de comunicación y vinculo de la Asociación, lo que permitió igualmente el diseño y la creación primero de un blog

<http://zoncuantla.blogspot.mx/> y poco después de una página web, en las que se dieron a conocer el diseño del logo de la AVP-Z, el Comité Directivo, los reportes e informes de trabajo y los proyectos en propuesta. Su dirección actual es la siguiente: <http://zoncuantla.org/>

A la fecha, después de un par de años de existencia, la página da cuenta de una cantidad de información, imágenes, textos y reportes que han recibido un total aproximado a 9,115 visitas, lo que puede no resultar un valor de gran tamaño o trascendencia, pero demuestra al menos la asistencia regular de interesados en la información que presenta; 9115 visitas/593 familias, resulta en un aprox. de 15 visitas por familia.

Más recientemente, para mantener la vigencia en los mecanismos y tendencias ofrecidas por las redes de comunicación actuales, se abrió también una cuenta en Facebook, con el establecimiento de un grupo de trabajo cerrado solo a sus miembros <https://www.facebook.com/groups/373115972721023/>, así como en Twitter, <https://twitter.com/Zoncuantla>, para detectar y registrar información relativa a la palabra Zoncuantla.

La Asociación sin embargo, requiere todavía consolidación y fortalecimiento en una mayor integración de sus miembros en la participación y contribución de tareas, la formalización más pronta y sencilla de incorporación de nuevos miembros, la más regular y ordenada contribución económica por las cuotas de membresía anual, así como la más amplia aportación generosa de trabajo voluntario en todas sus formas, variantes y posibilidades.

Esperamos que los siguientes años sirvan para fortalecer estas debilidades organizativas y de colaboración, que faciliten el más pronto cumplimiento de las tareas y propósitos de la Asociación. De la misma forma, será cada vez más importante registrar y formalizar los acuerdos alcanzados, como adaptar y actualizar los estatutos a la realidad organizativa de la comunidad.

En las siguientes secciones, se ofrece con mayor detalle, información general de algunos de los trabajos y esfuerzos realizados en los diferentes temas, que han sido dirigidos y coordinados por la organización de la Asociación, como lo que fue señalado anteriormente por parte del Comité de Agua en torno al intento de regulación de las contrataciones de agua en la comunidad en acuerdo con la CMAS-Coatepec.

## **1.5 EL MONITOREO COMUNITARIO DE CALIDAD DE AGUA**

Del 29 Agosto- 02 Septiembre 2005, un par de compañeros de la comunidad de Zoncuantla, coautores de este documento, asistimos a las instalaciones del Posgrado del *Instituto de Ecología, A.C.* a la presentación de resultados de investigación reciente en la parte alta de la Cuenca del Pixquiac, liderado por la Dra. Heidi Asbjornsen de *Iowa State University*, quien a su vez apoyó la visita de los Drs. William Deutsch y Sergio Ruiz Córdova, representantes de la agrupación *Global Water Watch*, de Auburn University, Alabama, USA para ofrecer un *Curso de Capacitación en el Monitoreo Comunitario de Cuencas Hidrográficas* (Deutsch, Ruiz-Córdova and Duncan, 2010).

### **1.5.1 Capacitación en el monitoreo comunitario de calidad del agua**

En tres de días de actividad teórica y práctica, fuimos formalmente capacitados por *Global Water Watch* (GWW) y certificados como *Monitores Comunitarios* de la calidad del agua en cuatro

aspectos: *Monitoreo Físico-Químico* (temperatura, pH, Dureza, Alcalinidad Turbidez y Oxígeno Disuelto); *Monitoreo Bacteriológico* (E. Coli y otros coliformes) (Aranda et al., 2008).

Para nuestra fortuna, las actividades prácticas del taller fueron programadas y realizadas en diferentes puntos del Río Pixquiac y sus afluentes río arriba, tales como el Xocoyolapan, Agüita Fría (en Rancho Viejo), el Tixtla y distintos puntos de confluencia y trayecto del propio Río Pixquiac en San Andrés Tlalnelhuayocan y Zoncuantla.

Esto por supuesto nos permitió conocer no solo la ubicación y acceso de estos afluentes de nuestro propio río Pixquiac, sino aprender y obtener información sobre la calidad de nuestro afluente.

Meses después, en junto con algunos otros compañeros del grupo inicial capacitado, asistimos por invitación a Auburn University, en Auburn, Alabama, USA, donde complementamos nuestra capacitación en *Caudal y Sólidos en Suspensión* (cantidad de agua y erosión) y *Biomonitoreo* (Macro-invertebrados indicadores de la calidad del agua), logrando al mismo tiempo elevar nuestro nivel de certificación como Entrenadores (*Trainers*), lo que nos concedió a partir de ese momento la posibilidad de capacitar y certificar a otros nuevos Monitores.

### **1.5.2 Inicio del monitoreo en el Pixquiac**

Gracias a la donación generosa del equipo de Monitoreo físico-Químico y los materiales necesarios para el monitoreo Bacteriológico, por parte de GWW, a partir del 10 de Diciembre de 2005, nos permitió la oportunidad de conformar un grupo de *Amigos del río Pixquiac* para poder ubicar e iniciar el monitoreo voluntario mensual en tres puntos del trayecto del Pixquiac en la zona de Influencia de Zoncuantla:

- 1) A la llegada del río a Zoncuantla; *Sitio 1 Las Monjas*
- 2) En un punto intermedio del río en la comunidad; *Sitio 2 Puente de Seis de Enero y*
- 3) En el tramo final del río Pixquiac en Zoncuantla; *Sitio 3 Mariano Escobedo.*

El costo aproximado del equipo recibido fue en ese entonces de un equivalente a \$215.00 USAD del Kit de Físico-Químico, más un aprox. a \$150.00 USAD (de 100 unidades para Bacteriológicos), es decir \$365.00 USAD (aprox. \$5,000.00 M.N. considerando los filtros para sólidos suspendidos).

Vale la pena aclarar que como referencia y comparación, la ejecución de un solo muestreo llevado a cabo a nivel comercial, nos fue cotizado en no menos de \$3,000.00M.N, mientras que por este método de participación comunitario, el costo de los equipos reportaría un costo aprox. a \$30.00 por muestreo..!

Los equipos (laboratorios portátiles y medios de cultivo) y metodología que se utiliza, son el resultado de años de investigación y experiencia del *Departamento de Pesquerías* de la Auburn University, en Alabama, EUA y de laboratorios privados especializados. Los métodos que aplicamos para el monitoreo físico químico y bacteriológico así como sus resultados están avalados por la *Agencia de Protección al Medio Ambiente* (EPA) de los Estados Unidos.

### **1.5.3 Organización de una red de monitoreo regional, nacional**

Al mismo tiempo, los más entusiastas participantes del curso comenzamos a organizarnos en una *Red de Monitoreo Comunitario del Agua*, en alianza con investigadores de diferentes universidades,



organizaciones civiles, productores y escuelas locales, centros de investigación. A la par se visualizó la posible creación de una agrupación local, regional o incluso nacional de GWW en México para atender y desarrollar redes similares con otros grupos interesados en otras regiones y cuencas del país.

El objetivo del grupo de Monitoreo Comunitario del Agua en la cuenca del río Pixquiac es que todos los ciudadanos que vivimos cerca de los ríos aprendamos a conocer y entender el comportamiento y salud de nuestros cuerpos de agua a partir de la toma y registro de datos mensuales en diferentes puntos de su cauce.

Con esta información podemos conocer y predecir las tendencias en el comportamiento y calidad del agua del río en el corto, mediano y largo plazo y entender a la vez los cambios provocados por la influencia de las actividades humanas de nuestra comunidad.

De manera paralela al trabajo de la AVP-Z, el primer autor de este trabajo participa en la organización de la actual agrupación de *GWW-México*, con quienes se ha venido trabajando, para poder reportar a la fecha un aproximado a 100 Talleres, 700 Monitores voluntarios capacitados en 10 estados de nuestro país. En un trabajo aparte de esta misma publicación, como GWW-México se presentan los principales resultados (Flores Díaz *et al*, 2013)

#### **1.5.4 Registro de la información recabada del monitoreo**

La información recabada por los grupos de monitoreo es revisada cuidadosamente e ingresada a un portal de internet de GWW en su sección México: <http://www.globalwaterwatch.org/Mexico/mxww.aspx> para que pueda estar disponible a todos aquellos que deseen conocerla y utilizarla, ya sea la propia comunidad, estudiantes, investigadores, o incluso funcionarios y tomadores de decisiones.

De esta forma, desde el 10 de Diciembre de 2005, hasta el mes de Abril 2013 se tiene ya realizados un total de 77 Monitoreos mensuales, consistentes en el *Monitoreo Físico-Químico* (temperatura, pH, Dureza, Alcalinidad Turbidez y Oxígeno Disuelto); *Monitoreo Bacteriológico* (E. Coli y otros coliformes), así como también el *Monitoreo de Caudal y Sólidos en Suspensión* (descarga y erosión).

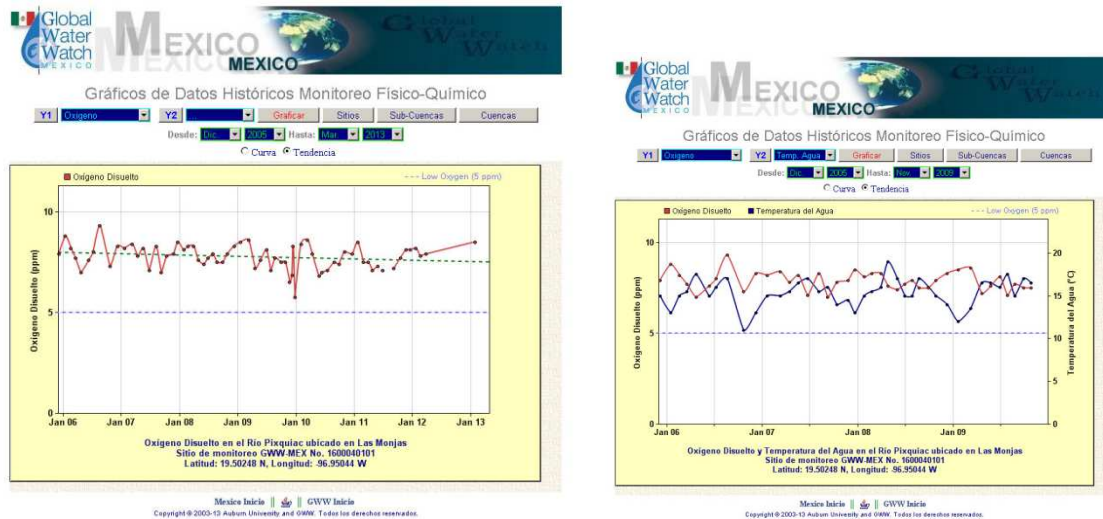
#### **1.5.5 Presentación de resultados**

El almacenamiento de los datos del monitoreo se realiza no solo para registrar y acumular la información, sino que al mismo tiempo, permite la visualización de los resultados en la forma de graficas y tablas que pueden ser mostradas con la información y periodos que uno mismo desee, solos o combinando variables para poder mostrar relaciones, comparaciones y/o tendencias.

Para localizar y explorar toda esta información debe realizarse el siguiente procedimiento de entrada a la página: <http://www.globalwaterwatch.org>, de la cual se seleccionan las pestañas de GWW-México, después Datos de Agua y Ver Datos, para después Buscar Sitio Por Cuenca (La Antigua, Rio La Antigua, Rio Pixquiac, nuevamente rio Pixquiac.), o bien Buscar Sitio por Límite Político (Veracruz, Coatepec, Zoncuantla), para terminar localizando los tres sitios de monitoreo ya mencionados: Las Monjas, Seis de Enero o Mariano Escobedo.

Una vez seleccionado el Sitio, se despliega una grafica en pantalla, que puede irse modificando en función del periodo de tiempo deseado, de la variable (solo una o un par), así como del dato (mas la tendencia si se desea), finalizando con picar el botón de Graficar. De esta forma pueden irse

presentando diferentes graficas, según el propósito o la información que se desee conocer. (Ver Figura # 1 ).



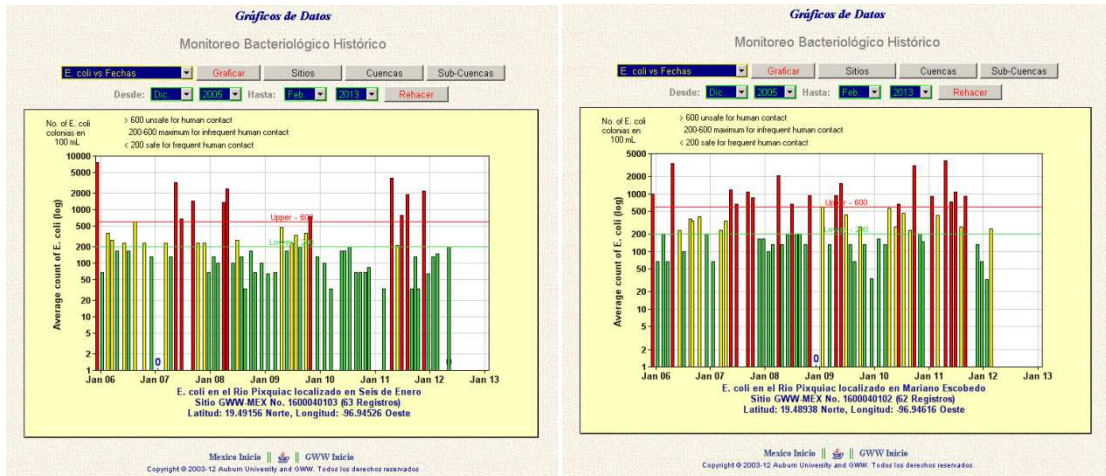
**Figura 1.** Graficas obtenidas en la página web de *Global Water Watch-México* que muestran información físico-química registrada y acumulada por los propios grupos, que se encuentra disponible y puede ser representada según se manipule por parte del visitante de la página interesado. <http://www.globalwaterwatch.org>

En el caso de la información bacteriológica, la representación gráfica es mostrada a través de barras de tres diferentes colores, para mostrar los diferentes rangos de seguridad para el contacto humano, establecidos en este caso, por la *Agencia de Protección al Ambiente*, la EPA de EUA (Fig. 2).

Son las tendencias generales las que GWW más se interesa en poder mostrar, porque el modelo de monitoreo comunitario pretende poder empoderar a las comunidades para ayudar a resolver los problemas que se puedan detectar, utilizando al menos tres diferentes estrategias:

- 1) Educación ambiental
- 2) Protección y Restauración
- 3) Gestión y Políticas.

Cabe aclarar que el programa de GWW no es quien realiza o promueve las iniciativas de acción, sino que éstas actividades, son decididas y desarrolladas por los propios grupos. El programa busca que se vayan construyendo socialmente, sus propios vínculos y capacidades, en el corto, mediano o largo plazo; considera el desarrollo de estrategias educativas, respalda los datos del monitoreo comunitario y promueve los vínculos con otros grupos y especialistas.



**Figura 2.** Representación gráfica del monitoreo bacteriológico realizado por el grupo *Amigos del Pixquiac*, en el que se muestran con colores, los diferentes rangos establecidos por las normas de salud, para el contacto humano.

### 1.5.6 Recapitulación de resultados y tendencias

A lo largo de la propia actividad de Monitoreo, con el tiempo poco a poco, los grupos de monitoreo van alcanzando a reconocer tendencias en la información que registran, que les ayudan a reconocer los cambios en las condiciones generales o particulares del río; no siempre es sencillo poder demostrar la relación de causa-efecto, o la importancia relativa que puede tener una posible afectación, pero justamente esa es la utilidad de los datos, permitir obtener y almacenar un registro y poder aprovecharlo más adelante.

Para esto puede resultar necesario, almacenar y manejar un periodo de tiempo más amplio, que abarque temporadas y diferencias estacionales y anuales, con lo cual poder manejar un conjunto mayor de información, para aumentar la certeza y la precisión de nuestros datos.

Siempre será de gran utilidad, intercambiar opiniones con expertos, investigadores o entre grupos de monitoreo, con el fin de poder estar en mejores condiciones de elaborar una síntesis, una reseña o una recapitulación de la información, de las posibles tendencias de nuestros datos y las posibles causas que las pudieran haber originado, justamente con el objetivo de recomponer por ejemplo, una señal de deterioro en nuestro cuerpo de agua, prevenir mayores afectaciones o incluso pretender restaurar las condiciones adecuadas originalmente encontradas.

Aun cuando este tipo de encuentro e intercambio para interpretar el conjunto de datos acumulados por el Grupo, para los primeros 7 años de monitoreo del Pixquiac Zoncuantla, aún no ha sido hecha todavía; esta tarea deberá pronto realizarse, para consolidar y fortalecer su función.

Aún sin este trabajo realizado, es posible reconocer aspectos generales que aquejan a la cuenca en del Pixquiac en su conjunto (Vidriales y Aranda, 2008):

- Pastoreo de ganado con abrevaderos sobre los ríos y arroyos.
- Asentamientos cercanos a los cuerpos de agua y sobre las áreas de abastecimiento de agua.
- Crecimiento habitacional desordenado y sin planeación urbana.
- Drenajes y escurrimientos de agua sucia en ríos y arroyos.

- Cambio de usos del suelo; de forestal a agrícola, de agrícola a urbano.
- Deforestación (falta de oportunidades en el campo, demanda de recursos forestales de las zonas urbanas), presión sobre el bosque de niebla.
- Aumento en la demanda de agua, de las comunidades de la cuenca y ciudades aledañas
- Cambio climático, afectación en la regularidad de la lluvia en la región, menor recarga de cuerpos de agua.

## **1.6 LA PARCELA DE BOSQUE CONTIGUA AL MANANTIAL**

En la sección 1.3.1 fue ya comentada la etapa en la cual la comunidad adquirió el derecho de aprovechamiento del manantial Ojo de Agua, pero no por ello fue adquirida la parcela completa, por lo cual sigue existiendo una relación y dependencia con el poseedor de dicha parcela Ejidal, el Sr. Gregorio Domínguez Acosta, quien puede decidir por su cuenta el uso y destino de su parcela. Don Goyo, como toda la gente lo conoce es miembro activo y conocido del Ejido San Antonio Hidalgo, de la Comunidad de San Antonio, en el vecino municipio de San Andrés Tlanelhuayocan, Ver., habiendo sido inclusive Presidente del Comisariado Ejidal.

El terreno en su posesión, se encuentra parcelado en fracción aproximada a las 5 Ha y ha sido destinado afortunadamente por Don Goyo, para preservación ecológica, a diferencia de muchas otras parcelas del ejido, reconvertidas a pesar del impedimento establecido en la Ley Agraria y Forestal, para la agricultura, el pastoreo de ganado, o incluso para el asentamiento habitacional.

En el año 2005, el poseedor de la parcela contigua, Don Inocencio Lúcido Rivera, orillado por dificultades económicas familiares, derribó de su parcela algunos árboles de encino para su venta y meses más tarde, ofreció en venta el traslado de dominio de su parcela completa; Al enterarnos de esta situación y de la posibilidad de que fuera adquirida por una persona interesada en establecer allí una granja de crianza de cerdos, el Comité Directivo de la AVP-Z convocó a reunión urgente y se determinó el acuerdo de adquirirlo a favor de la comunidad; esto a su vez permitiría su restauración ecológica y registrarlo bajo la modalidad de Área Privada de Conservación.

De esta forma, en 2006 la AVP-Z firma un contrato de promesa de compra venta con Don Inocencio e inicia una campaña de colecta de fondos entre los vecinos de la comunidad de Zoncuantla, para la adquisición de 5-12-89.35 Ha de la parcela ejidal 101- Z1 P1/1, colindante en su extremo de 135 metros con la Parcela 59 en posesión de Don Goyo, que posee el manantial Ojo de Agua del cual se surte la comunidad de Zoncuantla.

Transcurrió más de un año, pero ni aun así habíamos logrado recolectar el total de los recursos para terminar de pagar la parcela (establecido en \$400,000.00), pero por la tenacidad de algunos miembros y un afortunado golpe de suerte, durante la celebración del Día del Árbol (en 2007), con un escrito el primer autor de este documento aborda y entrega al Sr. Gobernador del Estado, Fidel Herrera Beltrán, la petición de apoyo para la culminación del pago; en un acto de repentina determinación, el Gobernador acepta cubrir los \$100,000. 00 restantes, con el aplauso espontaneo de la concurrencia.

Vale la pena señalar, que aún con la firma plasmada del Gobernador en la solicitud y la entrega de un par de Recibos de la AVP-Z por la misma suma total, transcurrió casi un año más, para que finalmente, pudiéramos efectivamente recibir dicha cantidad; de esta forma, el 29 de enero de 2008,

en Reunión del Comisariado Ejidal del Ejido San Antonio, con Inocencio, la entonces presidenta de la AVP-Z Mayra Ledesma, Eduardo Aranda y la Asesoría legal de Mirthala Juárez, se formaliza el traspaso de la Parcela de Don Inocencio a Mayra Ledesma a nombre de la Asociación.

Cabe aclarar que en el régimen ejidal, no es posible el traspaso a una persona moral, por lo que el traspaso fue realizado a la persona física (Mayra), como alternativa para resolver este traspaso; en los meses siguientes, el ejido llevó a cabo la Asamblea Ejidal en la que se tomó el acuerdo de conversión de propiedad ejidal al régimen legal de Dominio Pleno, con lo cual se elaboraron ya los documentos necesarios para el formal traslado final de Mayra Ledesma hacia la Persona Moral de la AVP-Z.

Una vez bajo la posesión de la AVP-Z, se llevaron a cabo los procedimientos de registro y trámite con el *Comité de Cuenca del Pixquiac*, (manejado por *Sendas ,A.C.*) para que ambas parcelas, la propia y la contigua, entre muchas más de la cuenca del Pixquiac, pudieran ser incluidas en el *Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos* establecido con Xalapa; con los recursos proporcionados del PSAH, la parcela ha podido ser atendida en 2010 y 2011 para llevar a cabo trabajos de reforestación y mantenimiento.

Solo resta señalar aquí, que resulta todavía necesario y primordial, establecer un acuerdo adecuado y satisfactorio, mediante el cual se agradezca y compense la afortunada y buena disposición de Don Goyo de preservar el bosque en su parcela, realmente a contra corriente del resto de miembros y parcelas del Ejido que han convertido sus bosques en campos agrícolas intensivos (en renta para cultivo de Papa), lo que de otra manera pudiera modificarse por Don Goyo o por presión de su familia, si consideran poco remunerativo para ellos mantener “*improductiva*” su parcela, mientras la comunidad se beneficia por el agua, o el organismo operador del Municipio ajeno, se beneficia con recursos que recibe por la dotación del agua, proveniente de lo que fue su manantial.

## 1.7 LAS JORNADAS DE EVALUACIÓN Y LIMPIEZA DEL PIXQUIAC

En el periodo de estaje del año 2008, el caudal del río tuvo uno de los niveles más bajos de los últimos 60 años. Aunque a la altura del vado de las Monjas todavía corría un nivel de aprox. 30 cm de profundidad de agua, el caudal se reducía o se perdía casi por completo antes de llegar al puente de Seis de Enero y casi no fluir ya nada en Mariano Escobedo, mucho menos en los parajes siguientes fuera de Zoncuantla, río abajo.

Tratando de concientizar a la comunidad sobre esta nueva realidad nunca antes vista, se consideró apropiado realizar una acción creativa, colectiva y coordinada, mediante la cual pudiéramos valorar y analizar juntos, como comunidad tales circunstancias; Se elaboró un documento provocador, invitando a la población a recorrer y conocer por primera vez el río Pixquiac en el cauce mismo de sus aguas, para reconocer las condiciones generales del río y de sus márgenes. A este evento, le llamamos Jornada de Evaluación y Limpieza del Pixquiac, lo que en siglas sugerentemente resulta en *JELP*.

Se propuso reconocer y enlistar los problemas principales, los buenos y los malos ejemplos y compartir todos aquellos razonamientos y esfuerzos que nos pudieran servir para tomar conciencia, revertir los posibles daños, unir y dedicar nuestros esfuerzos de comunidad, para mejorar las condiciones generales del río; al mismo tiempo, poder admirar y reconocer la belleza de los parajes

que resultan poco vistos por encontrarse sin acceso, poder recolectar la basura existente, reconocer los problemas y proponer un cambio en la forma pasiva de de ver nuestro río.

De esta manera, se convocó a la gente a un recorrido familiar, alternado por la oportunidad de detenernos en parajes de nuestra elección, para sentarnos entre las piedras y escuchar las charlas de algunos investigadores, estudiantes y amigos conocedores de temas relacionados con el agua, la vegetación riparia, el cambio climático, etc.

La convocatoria fue muy bien recibida y al recorrido acudieron adultos, jóvenes y niños, quienes conocieron en muchos de los casos, por primera vez, los lugares por donde el agua del río se perdía en las grietas, los sitios por donde el arroyo Tixtla encuentra su afluente, así como la oportunidad de ver una perspectiva muy diferente de las casas cuyos frentes a las calles parecen mejor atendidas y cuidadas, pero cuyos traseros resultaron más frecuentemente descuidados, desatendidos en su vista desde el río o incluso abusivos por invadir los márgenes, instalar bardas, construir estructuras indebidamente o pretender tomar control exclusivo de lo que la gente entiende como un espacio común de Espacio Federal...

Se enlistaron y ubicaron tomas de agua, se registraron también descargas escondidas o simuladas, botaderos de basura, de hojarasca, así como se hicieron conocidas, propiedades o construcciones que antes solo muy pocos había podido ver. La experiencia resultó muy provechosa y reveladora, sin embargo, la realidad no podría ser detenida sin un acuerdo comunitario, una normatividad bien aplicada y la participación decidida de una autoridad superior.

Tres años después, 2011 se repitió nuevamente un periodo aún más marcado de sequía en el río y creímos conveniente repetir la Jornada en un II JELP, pero modificando algunos aspectos:

1.- Realizar un trayecto más corto, sencillo y fácil, para evitar que la gente terminara rendida, agotada, con el solo deseo de regresar pronto a sus casas, sino con energía y ánimo suficiente, para reunirnos y tratar de lograr acuerdos y acciones concretas.

2.- Invitar amigos, vecinos de otras comunidades y especialmente invitar autoridades de instituciones relacionadas con el agua, el medio ambiente, las áreas protegidas, los centros de investigación, el municipio, el organismo operador, la protección del ambiente, la Conagua, que nos acompañaran a este recorrido, aunque su presencia no fuera oficial o formal, sino tan solo, solidaria.

3.- Anticipar la elaboración de un Manifiesto, un acuerdo que contuviera los aspectos que ya habían sido reconocidos antes, pero que requerían afianzarse y convertirse en redacción formal.

4.- Proponer la firma de dicho documento, como una forma de expresar acuerdo, aceptación y compromiso, que cumpliera la función formal o simbólica, de manifestar nuestra postura.

De esta forma, se elaboró un Documento de una sola hoja (dos páginas) y después del recorrido multitudinario, se llevó a cabo una reunión, tertulia, en un espacio abierto, bajo los árboles, donde toda la gente se sintió a gusto de conocer el documento y manifestar su acuerdo, su punto de vista.

El documento se tituló: “MANIFIESTO DE ACUERDO CONJUNTO POR LA PRESERVACIÓN DEL RÍO PIXQUIAC”, el cual textualmente dice lo siguiente:

*Este Manifiesto se suscribe por los participantes de la Segunda Jornada de Evaluación y Limpieza del Río Pixquiac, celebrado el día 08 de Mayo de 2011, organizado por la Asociación de Vecinos del Río Pixquiac-Zoncuantla, A.C.*

*A.- PROPÓSITO: trabajar activamente para el mejoramiento integral del río Pixquiac, en su trayecto de aprox. 3km comprendido en las colonias: La Pitaya, Seis de Enero, Mariano Escobedo y El Atorón, en la zona de influencia de la comunidad de Zoncuantla, Coatepec, Ver., atendiendo aspectos de la calidad de su agua, la salud ecológica y conservación de su área riparia y su cobertura vegetal, su biodiversidad, así como la delimitación formal de su zona federal, la prevención de la contaminación por descargas de aguas servidas y residuos sólidos, invasiones a la zona federal y aprovechamientos irregulares y todas aquellas evidencias de deterioro que perjudiquen su preservación ecológica, definiendo para ello una Programa Conjunto de Trabajo, para su conservación ecológica y uso sustentable así como la prevención de riesgos.*

*B.- DECLARACIÓN DE INTERÉS COMÚN Y BENEFICIO COLECTIVO: Los participantes de la Segunda Jornada de Evaluación y Limpieza del Río Pixquiac (de aquí en adelante mencionados como participantes), tanto ciudadanos como autoridades de diferentes niveles de gobierno y representantes de organizaciones de la sociedad civil tienen el interés común en el cuidado y mejoramiento general del río Pixquiac, en la atenuación del impacto al medio ambiente, el entorno ecológico, el bienestar humano, así como la sustentabilidad, la viabilidad económica y la seguridad social.*

*Los siguientes objetivos comunes son importantes para la preservación ecológica de los ríos y su mejoramiento integral:*

*1.- La realización periódica y sistemática de monitoreos de la calidad de agua en ríos y arroyos, para la obtención de información fisicoquímica, bacteriológica, comportamiento del caudal, sólidos suspendidos y biomonitoreo que permitan evaluar su condición y promover acciones de saneamiento y prevención de impactos negativos que puedan incrementar su deterioro ecológico.*

*2.- La delimitación formal de la Zona Federal para darle certeza jurídica y la aplicación de los preceptos legales correspondientes, así como para promover su uso sustentable.*

*4.- La reforestación, restauración, rehabilitación y/o recuperación de su cauce, márgenes, zona federal y su zona riparia.*

*5.- La dignificación de espacios naturales, la adopción de mecanismos de vigilancia y cuidado ciudadano, su acceso público y su disfrute dentro de las normas y preceptos de la conservación ecológica y aprovechamiento sustentable.*

*6.- La difusión amplia de los resultados para el conocimiento general de la población y los tomadores de decisiones.*

*Con el fin de cumplir con estos objetivos, los participantes manifiestan su mejor disposición para realizar un esfuerzo colectivo coordinado para llevar adelante las siguientes acciones prioritarias:*

*1.- Con la asesoría otorgada por CONAGUA y la aplicación de la legislación correspondiente, gestionar y desarrollar la delimitación oficial y ordenamiento de la Zona Federal del río Pixquiac, así como tramitar su concesión para promover su conservación ecológica en beneficio de la comunidad.*

*2.- Monitorear periódica y sistemáticamente la calidad de agua del Río Pixquiac, utilizando la metodología, técnicas y equipos de monitoreo propuesta por Global Water Watch.*

*3.- Reforestar y restaurar su zona riparia, con especies nativas para incrementar la cobertura vegetal y de esta forma evitar la erosión y mejorar su condición ecológica y uso sustentable.*

- 4.- *Prevenir y contrarrestar la contaminación proveniente de descargas de drenajes y aguas servidas, residuos sólidos, promoviendo la aplicación de alternativas y soluciones adecuadas que permitan solucionar los problemas.*
  - 5.- *Reducir la pérdida y erosión de los suelos, aplicando medidas correctivas y preventivas.*
  - 6.- *Dignificar los márgenes, la circulación peatonal, los accesos y espacios adecuados, para el sano disfrute de la colectividad, respetando la biodiversidad natural y promoviendo su cuidado y protección por la misma comunidad.*
  - 7.- *Promover la relación con Instituciones de Investigación y Organizaciones No Gubernamentales que realicen estudios y proyectos de investigación, conservación, restauración y aprovechamiento sustentable que nos ayuden a incrementar el conocimiento de la biodiversidad y mejoren la calidad ecológica de la zona.*
- C.- *EXISTE ACUERDO MUTUO Y ENTENDIMIENTO DE LAS PARTES PARA:*
- 1).- *MODIFICACIÓN: Este acuerdo puede modificarse en acuerdo y consenso de las partes que lo firmen, mediante la expedición previa de un nuevo documento por escrito que sustituya al presente.*
  - 2).- *PARTICIPACIÓN EN ACTIVIDADES SIMILARES: Este instrumento no restringe a los firmantes de participar o realizar actividades relacionadas o similares, de orden público o privado o con otras organizaciones de su libre elección.*
  - 3).- *VIGENCIA: Este instrumento dará comienzo al momento de su firma y tendrá una vigencia indeterminada.*

## **1.8 LAS DENUNCIAS AMBIENTALES**

Por el significado y el efecto que algunas luchas de la comunidad han dejado en los propios vecinos de la comunidad, tanto como el impacto que han logrado en la opinión pública local, consideramos adecuado compartir brevemente estos casos, como ejemplo de las contradicciones que a nivel legal, o normativo tienen, con respecto a la realidad cotidiana actual y el sentir popular.

De esta manera, sin que su presentación implique una relatoría exhaustiva o con una secuencia histórica, creemos significativo mencionar los casos siguientes.

### **1.8.1 El fraccionamiento ilegal en la zona de Reserva Ecológica Restrictiva**

En otras partes de este mismo documento se mencionó que la zona de colinas con remanentes de bosque que bordea el margen derecho del río Pixquiac en Zoncuantla corresponde al extremo sureste de un espacio de 1,456 Ha orientado hacia el noroeste, hacia las faldas del Cofre de Perote, que se encuentra catalogada bajo la categoría estatal de *Reserva Ecológica Restrictiva*, con sustento en la *Actualización del Programa de Ordenamiento Urbano de la Zona Conurbada Xalapa-Banderilla-Coatepec-Emiliano Zapata- Tlalnelhuayocan*, Aprobado por la Comisión de Conurbación en fecha 30 de enero de 2004, publicado en la Gaceta Oficial del Estado el 19 de Marzo de 2004.



La importancia de estos bosques, en términos de biodiversidad, sus servicios ambientales, su belleza escénica, así como su fragilidad, fragmentación, deterioro, regeneración y restauración, ha sido motivo de una gran cantidad de estudios, artículos de investigación y publicaciones variadas, entre los que destacan publicaciones como las de una de las vecinas de esta comunidad; Williams-Linera (2007), Williams-Linera, Pérez-García y Tolome (1996).

El caso es que sin saberse previamente nada al respecto, en el mes de Abril de 2009 llega a la AVP-Z un primer aviso de alerta de parte de una vecina que vive en la parte alta de la localidad, misma que señaló haber denunciado días antes a la PROFEPA la tala y acarreo de madera durante días y noches completos, viendo entrar y salir camionetas con madera aserrada durante la noche, acompañados por hombres armados y perros, que al decir de los vecinos, podría resultar peligroso a su seguridad; razones que orillaron a esta vecina, a no querer llegar a su casa a pernoctar.

Semanas después se escucharon otros comentario similares y preocupantes de algunos vecinos del lugar, por lo cual el 09 de Mayo de 2009, integrantes de la AVP-Z subieron a las colinas de la zona de Reserva, justo adelante del Campo Santo y se encontraron varias máquinas abriendo y nivelando anchos caminos en áreas de fuertes pendientes y laderas desnudas, antes cubiertas de bosque; muchos árboles cortados, entre ellos varios posiblemente centenarios; por todos lados de la propiedad, manchones de cenizas por la quema de la vegetación amontonada sobre los tocones, así como personal técnico realizando mediciones topográficas, que al consultar con ellos, ufanamente señalaron que se construiría allí un “*Fraccionamiento Residencial Campestre La Reserva*”.

A partir de ese momento, la AVP-Z trató de obtener información oficial al respecto; permisos, autorizaciones, responsables, nombres, etc., a lo cual las autoridades del Municipio simplemente no respondieron; Al mismo tiempo, se inició la búsqueda de información sobre la normativa de la zona, así como información relativa a la MIA, *Manifestación de Impacto Ambiental*, que por tratarse de un bosque, se suponía debía ser de carácter Federal.

Sin embargo esto no fue así, porque el entonces Director de la Delegación Estatal de SEMARNAT en Veracruz, de manera irresponsable, se limitó a contestar meses después, que no existía la necesidad de realizar un *Estudio Técnico Justificativo* puesto que a su consideración, se trataba de un cafetal bajo sombra de Montaña; de esta forma, según su razonamiento, la MIA podía ser realizada en el nivel estatal y para su entidad, todos los documentos necesarios se encontraban en regla.

El proyecto se fue conociendo y comprendiendo más adelante; un fraccionamiento asentado en una superficie de 20 Has iniciales de terreno para vender 130 lotes de aprox. 800 m<sup>2</sup> cada uno, para la construcción de casas residenciales, más otras 20 Has que se encuentran ya adquiridas también. Fueron talados y desaparecidos una gran cantidad de árboles de bosque mesófilo y cafetales para establecer la vialidad. El suelo fue removido y nivelado sin supervisión alguna, ignorando la existencia de cursos de agua superficiales y resumideros importantes, que no debieron ser alterados.

Se anunciaba como un proyecto “*ecológico y sustentable*”. La empresa fraccionadora dijo que los daños al medio ambiente eran mínimos, que serían mitigados y aseguró que el trato al medio ambiente, que darían los futuros habitantes -clase media-alta-, sería de cuidado y respeto, pero no ofrecieron ni dispusieron ninguna garantía ni control para que así sucediera realmente.

Se consultó la *Ley de Desarrollo Regional y Urbano del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave*, en donde el artículo 33 se refiere a las reservas ecológicas de un centro de población, que a la

letra señala: “...corresponden a las áreas no urbanizables y tendrán el carácter de Área Natural Protegida; mas adelante establece que: “deben entenderse como áreas protegidas, en los términos de las leyes aplicables”.

Por su parte, el artículo 27 establece la obligatoriedad de los programas, al afirmar que las dependencias y entidades de la administración pública de los tres niveles de gobierno que concurren en el desarrollo regional y urbano en el estado, se sujetarán a lo que dichos programas prevean.

En el artículo 28 se señala algo muy importante: “Las licencias ó autorizaciones que no se ajusten a esta disposición (a lo señalado en el Programa de Ordenamiento de la Zona Conurbada vigente), serán nulas”.

La molestia de los ciudadanos no se hizo esperar, se iniciaron movilizaciones, se elaboraron documentos con el apoyo de investigadores y especialistas, presentado y demostrado las irregularidades, inconsistencia, omisiones, incumplimientos y criterios legales que se violaron en la aprobación de este proyecto.

Las razones fueron muchas y bien fundamentadas:

- Existen múltiples estudios e investigaciones realizadas en el lugar, que demuestran la alta diversidad biológica presente, que sirve de refugio y corredor biológico a muchas especies de mamíferos, aves, anfibios y reptiles, muchas de ellas protegidas por las leyes del equilibrio ecológico y la protección de la Fauna Silvestre.

- Estos fragmentos de bosque mesófilo relictos, evitan la erosión del suelo, retienen la humedad y controlan el microclima de la región, proporcionando importantes servicios ambientales hidrológicos, ecoturísticos, de recreación y hasta escénicos o de paisaje.

- En la misma zona del proyecto se encuentran importantes vestigios arqueológicos, aún sin explorar. (Sitio Totonaco “Los Metlapiles”), que fueron descubiertos y registrados desde 1890.

- El predio presenta altas colinas y fuertes pendientes que lo hacen muy inestable y susceptible a la erosión y el deterioro ecológico. En el área que se quiere lotificar en el predio, se encuentran zonas con pendientes superiores al 60%; ...no debería tener una pendiente mayor al 15%.

- Para uso habitacional de bajo impacto, proponen lotes de 800m<sup>2</sup>, cuando en las zonas bajas de Zoncuantla, se tienen establecidos límites de 2,500 m<sup>2</sup>, para preservar el arbolado y tratar las aguas servidas.

- De la misma manera, en los planos del proyecto se observan algunos tramos de las vialidades que se pretenden construir sobre zonas de fuertes pendientes, que serían prácticamente imposibles de construir sin afectar fuertemente la orografía y el diseño propuesto.

- El Proyecto no garantiza la existencia de agua potable para abastecer ni una sola vivienda, pues todavía no se construyen los supuestos pozos profundos que tiene proyectados, sin permiso aún de CONAGUA.

- No cuenta con accesibilidad propia a una vialidad urbana y se encuentra lejos de las zonas servidas por la infraestructura creada, además que tendrían que construir un puente sobre el Río Pixquiác y realizar otro MIA pero este, Federal.

- La región es una importante zona productora de agua, pero no porque la acumule, sino porque el suelo la filtra y conduce a manantiales más adelante; Al mismo tiempo el proyecto considera la instalación de fosas sépticas por cada casa.

- Una vez aprobado este primer proyecto urbano y el antecedente de creación de infraestructura para ello, se daría precedente “legal” para que se abrieran otros y no habría manera de detenerlos ya hasta conquistar la totalidad de estas áreas; aquí o en cualquier lugar de similar estatus.

Además de estas razones, se encontraron también incumplimientos por parte del promovente del proyecto. Hechos:

- En la MIA no se encontró el *Dictamen de Desarrollo Urbano Integral* (obligatorio para fraccionamientos de más de 100 casas) ni el *Dictamen de Factibilidad Regional* (obligatorio para fraccionamientos de más de 50 viviendas).

- El expediente del promovente carece de la autorización de la CONAGUA para la perforación de un pozo profundo y la extracción de agua para el abastecimiento del fraccionamiento. Es decir, no existe la garantía ni la certeza de que el fraccionamiento va a contar con el servicio de agua potable requerido.

Por otra parte, se omitieron y/o violaron importantes criterios legales en la aprobación de este proyecto por parte de los tres niveles del gobierno. Hechos:

- El cambio de uso del suelo fue autorizado el 30 de Enero de 2009 (exped. 080 del 06.02/2009) por el *Secretario de Obras Públicas, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Municipio de Coatepec*, Lic. Rafael González Libreros, aunque no corresponde a esta instancia individual decidir este tipo de aprobaciones. De aprobarse un cambio de uso de suelo para un desarrollo habitacional, éste debe ser emitido por el cabildo, validado por la *Comisión de Conurbación* y aprobado por el *Congreso Estatal*. En el expediente no se encuentran dichas validaciones y aprobaciones.

- El permiso de Inicio de Construcción fue otorgado por el Ayuntamiento 2 meses antes de presentarse la MIA, lo cual es evidentemente ilegal.

- INVIVIENDA, en su oficio N° IVDURV/0106/09, de fecha 18 de Febrero de 2009 responde a la solicitud del promovente y afirma que “*el predio se localiza en una zona indicada como Reserva Ecológica Restrictiva*”, pasando a definir los criterios de esas zonas: “*En la cual no se permiten los usos distintos a los existentes, tendientes a la conservación de las características físico – naturales de la zona, recomendándose los usos de tipo turístico – ecológico y aquellos compatibles con los usos existentes en dicha zona*”. Sin embargo, de manera sorprendente y contradiciendo lo que escribió unas líneas antes, INVIVIENDA procede a indicar por escrito al promovente que “no tiene inconveniente en que se realicen las gestiones pertinentes para el cambio de uso de suelo a consideración de la autoridad municipal y de acuerdo a las políticas económicas del desarrollo de la zona”, sin citar justificante alguno respecto a políticas que permitan hacer fraccionamientos en zonas ecológicas restrictivas.

- Reconocido por el titular de la entonces Coordinación General de Medio Ambiente, Alonso Domínguez Ferraez, existen inconsistencias y omisiones en la MIA que pudieron haber inducido a error en los criterios considerados por las autoridades al otorgar los permisos y aprobaciones. De tal forma, la MIA presentada por la Fraccionadora parece tener como principal objetivo desestimar u omitir una gran cantidad de los impactos negativos que provocarán mayores afectaciones al medio

ambiente, recurriendo además al artificio de transformar impactos negativos en supuestos beneficios, obviamente sin ningún sustento. Según sus propias declaraciones, esto podría motivar incluso el retiro de la licencia de la Consultora Ambiental (GDPA) que elaboró la MIA y hacerse acreedora a una multa de hasta 2 millones de pesos.

La autoridad Municipal, apela a la autonomía que le otorga el 115 Constitucional y ante un diario declara que el Municipio, *“no canceló ni cancelará los permisos de cambio de Uso de Suelo que otorgó a la empresa Fraccionamiento La Reserva, S.A. de C.V.”*

El 22 de Mayo 2009 se entrega un oficio al INAH, donde se pide la intervención de la Institución para la suspensión de la obra, debido a que en el área se encuentran vestigios prehispánicos Totonacos, conocidos como “Los Metlapiles”. El 01 de junio se realiza un recorrido de inspección con dos arqueólogos del INAH, que confirman la presencia de importantes vestigios dispersos en la zona.

El presidente municipal, en un artículo del Diario de Xalapa publicado el 31 de mayo, busca deslindar su responsabilidad directa y se pretende presentar como mediador: *“...Ramírez Cabañas expuso que en el conflicto.....el tendrá que fungir como juez y mediador, “es mi deber escuchar a los vecinos, pero también vigilar que la constructora se apegue a los lineamientos que marca la ley.”*

El día 26 de junio de 2009, la Delegación de INAH de Veracruz envió un oficio al Pdte. Mpal., en el que le dio a saber los resultados de la inspección que realizó personal de Arqueología de esa Delegación Federal a los terrenos de la Empresa Fraccionamiento “La Reserva S. A.” ... y con fundamento en la normatividad invocada en el texto mismo, el INAH le notifica al Municipio que *“Se proceda a la suspensión de toda actividad de obra de excavación, nivelación construcción y edificación; medida que prevalecerá hasta en tanto se determina la protección, conservación y restauración del Patrimonio Cultural Arqueológica de la Nación”*.

Con fecha 14 de Julio de 2009, el entonces Director de la *Coordinación General de Medio Ambiente* CGMA, envía un oficio a la *Asociación de Vecinos del Pixquiac-Zoncuantla*, en el cual señala haber realizado el 26 de Mayo, una visita de inspección al predio, levantado una *Acta de Inspección Circunstanciada* y decretado como *medida de urgente aplicación*, la suspensión de trabajos relativos a la Construcción del Proyecto de Fraccionamiento

Oficial y artificioamente, el alcalde suspendió temporalmente las obras, pero solo en papel, pues la construcción del Fraccionamiento continuó y los trabajos nunca se detuvieron; pocas semanas después, ante un Juicio Contencioso Administrativo promovido por la Empresa contra la suspensión Municipal, -juicio que por supuesto no fue atendido ni respondido por el Municipio-, el 10 de Sep. de 2009, La *Juez Magistrada de la Sala Regional de la Zona Centro del Tribunal de lo Contencioso del Poder Judicial de la Federación*, determinó improcedente la suspensión de los trabajos y decide Revocar las Suspensiones existentes y permitir la continuación de las Obras del Fraccionamiento. A partir de ese momento, las obras no han sido detenidas ni suspendidas hasta la fecha.

Motivado por una visita de la Asociación al Congreso del Estado, el *Presidente de la Comisión Permanente de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Aguas de la LXI Legislatura del H. Congreso del Estado*, de extracción Panista, interesado en poder detener este proyecto, somete al Congreso un pronunciamiento con anteproyecto de punto de acuerdo, sobre el conflicto ciudadano

contra el *Fraccionamiento Residencial Campestre La Reserva*, para solicitar al Ayuntamiento de Coatepec que rinda un informe pormenorizado sobre la autorización de construcción y cambio de uso de suelo, así como a las instituciones involucradas para que remitan informes técnicos de las autorizaciones otorgadas; sin embargo la votación Prista, es mayoría absoluta en la cámara y no se aprueba el punto de acuerdo.

El conflicto ciudadano resultó emblemático por el atropello a los derechos ambientales y por la destrucción de los últimos reductos de bosque mesófilo de montaña o Bosque de Niebla, pues ha sido reconocido entre los estudiosos, que solo queda ya un escaso 10% de la superficie original de estos Bosques. En estas aéreas se encuentran todavía una gran cantidad de especies, muchas de ellas protegidas o amenazadas, así como se pone en riesgo importantes servicios ambientales (refugio de biodiversidad, regulación climática, captación y recarga de agua, oxígeno, retención de suelos, captura de carbono, paisaje, recreación, etc.) que pueden afectar para siempre, la calidad de vida de sus habitantes y por supuesto el patrimonio natural de la región.

Esta torpe decisión se considera que no solo afectará las 20 Ha en las que estarán instaladas las primeras 130 casas, sino que seguramente sentará el antecedente “legal” de su establecimiento y creación de infraestructura, lo que dificultaría aún mas detener otros intentos de especulación de tierras y establecimiento de desarrollos urbanos colindantes, hasta poder acabar con la totalidad de la reserva.

Por supuesto, hasta la fecha, la AVP-Z no se ha dado por vencida, iniciando desde 2009 una demanda civil y administrativa en contra del Municipio de Coatepec, demanda que hasta la fecha ha trascendido diferentes instancias, antes de que pueda pasar la forma y atenderse el fondo, considerando que las autoridades deben analizar y reconocer las razones, hacer respetar las leyes vigentes y concluir la suspensión definitiva del proyecto.

Cabe señalar que mientras tanto, al cabo de los 4 años transcurridos, la empresa constructora recientemente se declaró en quiebra, por lo que en este momento, es el Banco del Bajío BANJIO la institución que promueve públicamente la venta de lotes de este Fraccionamiento, argumentando en su publicidad impresa a la entrada del acceso al Fraccionamiento, que se está llegando y entrando “*casi al Paraíso*”.

### **1.8.2 La apropiación del espacio federal en el río Pixquiac**

Un tema que impactó a los ciudadanos de la comunidad y algunos sectores de la población de Xalapa, surgió cuando el día 04 de Mayo de 2011, justo en los días previos a la celebración en Zoncuantla de la *Segunda Jornada de Evaluación y Limpieza del Pixquiac* (comentado en la sección 1.7), un influyente periódico de la prensa local de Xalapa en su primera plana, relató la denuncia que el Departamento de Ecología Municipal de Coatepec presentó a la opinión pública, al respecto de las afectaciones realizadas sobre el cauce y márgenes del río Pixquiac, por parte de un conocido ex funcionario estatal y ex rector de la Universidad Veracruzana, Víctor Arredondo Álvarez en su propiedad río abajo de Zoncuantla, en la congregación contigua de Consolapa, Coatepec (La Jornada Veracruz, 04 May 2011).

En el artículo periodístico y en los videos presentados en internet (La Jornada Veracruz en línea, 2011), se muestran imágenes tomadas en un trayecto aproximado a 200 metros de longitud del río Pixquiac, bordeado a ambos lados por terrenos de su propiedad, en donde el mencionado ex

funcionario estatal, en esa temporada de estiaje de 2011, intervino con trabajadores y maquinaria pesada (Bulldozer), el lecho seco del cauce del citado río Pixquiac.

Resultaron notorias y evidentes las graves alteraciones físicas realizadas, removiendo con entera libertad, conveniencia personal y sin autorización oficial alguna, cientos de metros cúbicos de rocas grandes, medianas y pequeñas, grava, gravilla y arenisca, dejando descubierto el lecho y modificando a su antojo la configuración, anchura y profundidad natural del cauce del río, para edificar represas, bordos, taludes, terraplenes, vados y puentes en el cauce mismo, así como construyendo en los bordos, en la zona federal y dentro de su propiedad, escalinatas, pisos, muros, cabañas y rodetes de árboles, utilizando para ello la piedra bola y gravilla pertenecientes al cauce principal de río.

Estas alteraciones fueron hechas por el solo capricho personal de su propietario, realizadas con el fin de edificar un supuesto desarrollo Ecoturístico Diamante, con fines de lucro, pero que en cualquier caso, resultaba vergonzoso e irresponsable que todo esto hubiera sido hecho por la sola decisión de un personaje político, económicamente poderoso e influyente, sin autorización legal alguna, del cual se espera una conducta pública y un desempeño honesto e irreprochable.

Por tal razón, como acuerdo logrado en la reunión pública llevada a cabo durante la celebración del II JELP, se pidió y acordó exigir a las autoridades responsables de las aguas nacionales, de la protección del ambiente, de los recursos naturales, el equilibrio ecológico y de las legislaturas tanto en su nivel estatal como federal, su pronta intervención y conocimiento directo de estos hechos, con el objeto de configurar jurídicamente la responsabilidad legal y sanciones que a estos hechos correspondía, que a juicio de los ciudadanos allí reunidos, parecían merecer un castigo severo y ejemplar.

En el documento de denuncia, se exigió la demolición completa de las obras realizadas, tanto en el cauce como en la zona federal, la restitución de las rocas y materiales a su cauce principal donde pertenecen, así como una rehabilitación ecológica por parte de una entidad calificada y designada especialmente para tal efecto, con cargo y responsabilidad para el causante de estos daños, así como negar en definitiva la Concesión Federal de la Zona Federal colindante a la propiedad de este personaje, por su irresponsable actuación, al margen de las leyes y la normatividad vigente.

Resultó evidente el hartazgo ciudadano por la impunidad con la cual funcionarios importantes, personajes públicos conocido como éste, realmente se castiguen con el rigor y severidad que corresponde, pues se parte del principio moral de que nadie, por más poderoso e influyente que pudiera ser, puede conducirse por encima de la ley y mucho menos cuando se vulnera y daña el patrimonio natural que corresponde a la Nación.

Se conformó un grupo ciudadano que pudiera representar no solo a la comunidad de Zoncuantla o a la AVP-Z, sino uno más amplio de *Ciudadanos en Defensa del Pixquiac*, el cual encabezó movilizaciones, ofreció entrevistas de prensa y elaboró denuncias y escritos a los tres niveles de gobierno, acudiendo en repetidas ocasiones a solicitar información, exigir respuestas, así como tratar de presionar a las autoridades de la CONAGUA a responder prontamente.

La razón de urgencia era muy clara y razonable, pues el cauce del río permanecía seco y por tanto, habría la oportunidad de llevar a cabo las demoliciones y devolución de los materiales al cauce, sin que la corriente del río dificultara estas acciones, puesto que independientemente de la determinación de responsabilidades o la dictaminación de sanciones, la restauración de los daños y

la restitución de los materiales a su lugar original no requiere la dictaminación de un juez, sino que involucra solamente a la determinación, valoración e intervención de la CONAGUA.

Como seguramente sucede en muchos otros casos como éste, las autoridades locales flaquean en su determinación política, buscan desviar su responsabilidad hacia otras entidades o simplemente argumentan cautela y pulcritud en sus procedimientos y pasos legales, para dejar pasar el tiempo y simplemente evitar ejercer una acción legal que más adelante les puede repercutir políticamente.

Efectivamente, aún a pesar del apoyo de los medios de comunicación, con el paso de las semanas llegaron las lluvias, el agua del río volvió a restablecerse y las crecientes y desbordamientos que se presentaron en otros ríos del estado ofrecieron la excusa para distraer la atención pública y mientras tanto, ni la autoridad municipal que inició la denuncia pública (no legal.), ni la CONAGUA, ni la PROFEPA hasta la fecha (Abril de 2013), han sido capaces de cumplir su mandato de respetar y hacer respetar las leyes, así como tampoco restaurar los daños.

Al parecer, La Dirección Jurídica de la CONAGUA Federal en la Ciudad de México, a quien también se dirigió la denuncia ciudadana, inició la averiguación previa AP/PGR/VER/Xal/II/214/2011, con fecha 20 de Junio 2011, solicitando un dictamen pericial, que según lo mostrado en una entrevista con el grupo ciudadano, daba cuenta y detalle de todas y cada una de las 6 ó 7 represas construidas, muros, escaleras, edificaciones, etc. que fueron realizadas, pero que según dijeron, requerían de la declaración o respuesta del presunto responsable, quien no “*había acudido*” al Citatorio correspondiente... En entrevista con el Director de CONAGUA y su Departamento Jurídico, mencionaron las dificultades de no poder demostrar legalmente que todo el material pétreo utilizado en las edificaciones y represas, había sido tomado del cauce mismo del río Pixquiatic, pues el demandado argumentaba que había sido tomado de tierra adentro, en los terrenos de su propiedad; por otra parte argumentaba también que las represas habían sido construidas hace años, antes incluso que adquiriera esa propiedad...

El grupo de *Ciudadanos en Defensa del Pixquiatic*, no se ha disuelto hasta la fecha, sigue activo y exigiendo justicia, pero la entidad regional y nacional de CONAGUA cambió en Enero de 2013 su directiva Federal y Regional, por lo que es muy probable que las nuevas autoridades no quieran tampoco heredar la responsabilidad de sancionar estos hechos.

### **1.8.3 La derivación del río Suchiapa para abastecimiento urbano**

Cabe señalar aquí, antes de detallar esta sección, que el río Suchiapa (o Xuchiapa) es un afluente que se une al río Pixquiatic un par de kilómetros río debajo de Zoncuantla, pocos metros antes del puente de acceso a la ciudad de Coatepec, por la carretera nueva que viene de Xalapa; río que al igual que el Pixquiatic, desciende de las faldas del Cofre de Perote y es uno de los afluentes de aguas permanentes y mas cristalinas de la región, con zonas de remanentes de bosque conservados y con una pequeña población residente, interesada y preocupada por preservar su entorno natural.

El 17 de mayo del 2012, la agrupación hermana de la AVP-Z, *Vecinos del Río Suchiapa, A.C. VERS, A.C.* presentó públicamente ante vecinos, autoridades y medios de comunicación el recientemente elaborado documento *Lineamientos para el Desarrollo Sustentable de la Microcuenca del Río Suchiapa*, elaborado con el apoyo de investigadores de la UV, con propuestas concretas para colaborar con el Municipio en la defensa del valioso patrimonio natural de esa región. <http://vers-ac.blogspot.mx/>

El proyecto presentado tiene considerado una serie de acuerdos y estrategias en los rubros de ocupación habitacional, desarrollo económico y de actividades de conservación.

En lo que respecta a la ocupación habitacional, propone una densidad habitacional del territorio de no más de una familia por hectárea. Evitar, hasta donde sea posible, desarrollos que demanden servicios no generados localmente para evitar entradas de línea de distribución de alto impacto (acueductos, tendidos aéreo de cables, repetidores de señales, caminos pavimentados, etc).

Así mismo se toca lo respectivo a favorecer el empleo de materiales de bajo impacto ambiental, preferentemente de la región. Evitar el deterioro de la imagen del paisaje natural y de la calidad del territorio (estructuras que no superen los dos pisos y que no modifiquen la superficie del terreno). Y promover el uso de ecotecnologías regionales.

Sobre el tema de desarrollo sustentable, quedó asentado que es importante asegurar el bienestar y la sana convivencia de los habitantes de la microcuenca, mediante un Plan de Desarrollo Económico Sustentable, que propusiera alternativas económicas viables y redituables sin poner en peligro el equilibrio ecológico regional.

Con respecto a las actividades de conservación se mostraron interesados en velar para que se mantenga la Veda legalmente establecida sobre el aprovechamiento de los recursos del Río Suchiapa y que se mantenga un Caudal Ecológico que permita la conservación del patrimonio ambiental de la cuenca y las actividades eco-turísticas.

A su vez, propusieron la regulación de actividades como: manejo de aguas residuales, manejo de desechos orgánicos e inorgánicos, tanto domésticos como generados por las actividades agropecuarias, y fomentar prácticas domésticas de conservación y mejoramiento ecológico así como de prácticas agrícolas inocuas o de muy bajo impacto ambiental.

Finalmente, señalaron la importancia de conservar las especies endémicas de flora y fauna existentes, características del bosque de niebla, y mejorar su situación a través de medidas como la reforestación, monitoreo y creaciones de UMAs (*Unidades de Manejo Ambiental*).

Sin embargo, unas pocas semanas después, el día 6 de Junio de 2012, en una reunión convocada para tratar de validar en Cabildo su propuesta presentada, el Municipio aprovecha la oportunidad para anunciar el avance de un Proyecto titulado: *Sistema Múltiple de Agua Potable El Grande, Puerto Rico, Las Lomas, Bella Esperanza y Tuzamapan, Coatepec, Ver.*, mediante el cual el Municipio de Coatepec pretende dotar de agua potable una amplia región de la zona baja, al este del municipio, que según sus valoraciones, presentaba ya condiciones severas de escasez en el suministro de Agua Potable.

El Proyecto plantea establecer una presa derivadora en el Río Suchiapa, río arriba en la Comunidad de Chopantla, al Noroeste de Coatepec, así como de un manantial cercano (La Comunidad), para conducir sus aguas a través de una tubería de más de 28 Km de longitud total, haciéndola pasar por la zona sur de la mancha urbana, conducirla justamente por la zona de *Corredor Industrial*, por los terrenos de mayor especulación y crecimiento habitacional, pero supuestamente para surtir exclusivamente a las 5 comunidades señaladas, mismas que se encuentran dispersas y separadas entre sí, pero con presencia intermedia de nuevos fraccionamientos en desarrollo, tan enormes como el de las *Casas GEO*, con más de 1,500 viviendas recién construidas (y otro tanto igual por construir en segunda etapa), sin que hasta la fecha estos fraccionamientos tengan agua potable de la cual surtirse, pero que según aseguraba el Municipio, no serían dotadas



con estas aguas, al menos durante su gestión.... Cabe señalar, que el Municipio desde meses antes, por la presión de los nuevos pobladores de este Fraccionamiento, diariamente surte con pipas de agua traídas desde la ciudad de Coatepec.

Por supuesto, el proyecto fue rechazado no solo por los Vecinos del Suchiapa, A.C, sino por un grupo mayor de Ciudadanos y agrupaciones hermanas como la AVP-Z y la representación del *Comité de Cuenca del Pixquiac*, que emitieron un comunicado conjunto conteniendo los siguientes puntos:

*1) El proyecto va en contra de los preceptos de sustentabilidad a los que México se ha obligado mediante la firma de convenios internacionales, carece de fundamentos sólidos y constituye un verdadero ecocidio para la microcuenca y sus habitantes.*

*2) Las especificaciones del proyecto no cumplen con los criterios de sustentabilidad establecidos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, cuyo Artículo 4º establece que:*

*Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. Y asimismo, que el Estado garantizará el derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua mediante un uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.*

*Entendiendo por sustentable el uso que no pone en riesgo los derechos de las generaciones futuras.*

*3) El proyecto no contempla la necesidad de mantener el equilibrio entre los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, como son la protección de suelos, áreas boscosas y selváticas, el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua y la capacidad de recarga de los acuíferos en escenarios habituales o de cambio climático, por lo cual también es violatorio al artículo 147, fracc. VIII de la Ley Estatal de Protección Ambiental. Dichos criterios, según el artículo 148 de la misma Ley, deberán ser tomados en cuenta para el otorgamiento de concesiones, permisos y, en general, toda clase de autorizaciones para el aprovechamiento de recursos naturales o la realización de actividades que afecten o puedan afectar el ciclo hidrológico.*

*4) El proyecto no contempla otras opciones de abastecimiento disponibles a nivel local (tales como captación de agua de lluvia, saneamiento de corrientes y cuerpos de agua, Asociación de Vecinos del Río Suchiapa, A.C. perforación de pozos) y no demuestra que el entubamiento sea la mejor opción desde los puntos de vista técnico, económico, ambiental y social.*

*5) El proyecto pretende extraer del río Suchiapa una cantidad de agua mucho mayor de la necesaria para abastecer a la población de las cuatro localidades en cuestión. Los 36.95 litros por segundo tomados como gasto máximo diario equivalen a 3'192,480 litros diarios, siendo que con tan sólo 1'815,000 se podría abastecer a los 12,100 habitantes que suman estas poblaciones actualmente. Es decir, se pretende enviar a dichas poblaciones casi el doble del agua requerida, lo cual equivale a generar una situación de abundancia y, como resultado, un probable aumento del consumo de agua por habitante.*

*6) El proyecto pretende justificar esto aduciendo que su población objetivo no es la población actual sino los 15,205 habitantes que estas localidades sumarían en el año 2033, según una proyección convencional de crecimiento demográfico. Aun aceptando que fuese necesario adelantarse 23 años a la demanda de agua de estas poblaciones, una vez más, la cantidad de agua considerada como gasto máximo diario rebasa por mucho los 2'280,750 litros necesarios para abastecer a esa población hipotética.*

*¿Acaso se está tratando de incluir en estos cálculos el porcentaje de agua que se sabe es desperdiciada en la cabecera municipal (40%). ¿Es decir, en lugar de corregir y prevenir el mal uso del recurso, estaría el Municipio propiciándolo? Lo anterior se agrava aún más si se considera que el proyecto incluye también el*

abasto de una "fuente alterna" (el manantial La Comunidad) de 49 litros por segundo. Toda esta agua súbitamente disponible no puede más que conducir a un desmedido aumento de población proveniente de otras partes, y de nuevos desarrollos habitacionales que demandarán mucho más agua de la prevista, con lo cual el remedio resultaría peor que la enfermedad.

7) El proyecto no incluye medida alguna para asegurar el uso eficiente y sustentable de agua por parte de las poblaciones receptoras (tales como instalación de medidores, captación de agua de lluvia, instalación de tinacos y cisternas, separación y tratamiento de aguas residuales, sanitarios ahorradores de agua, letrinas secas, etcétera).

8) El proyecto pretende conducir el agua atravesando el corredor industrial de Coatepec-Las Trancas y unidades habitacionales que se han construido irregularmente, y muy probablemente su realización contribuiría a acelerar el crecimiento urbano desordenado en esta zona y el uso irracional del agua.

9) El proyecto deja de lado medidas urgentes para un mejor uso de los recursos hídricos, como el saneamiento de las aguas servidas que paradójicamente abundan alrededor de estas poblaciones. En el caso de la colonia Las Lomas, por ejemplo, es sabido que en sus inmediaciones existen cuerpos de agua (como el pocito llamado Boca de Tigre y la laguna que se extiende hacia uno de sus lados) de los cuales podría abastecerse la población.

Por todo lo anterior, y considerando que es obligación del Municipio cumplir con las disposiciones jurídicas antes mencionadas y con lo dispuesto en el Artículo 147 fracc. IV de la Ley Estatal de Protección Ambiental, que establece la obligación de los municipios a tratar todas las aguas residuales de origen urbano, previamente a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, y que la propia cabecera municipal presenta un alarmante déficit de medidores de agua en los domicilios (lo cual equivale no sólo a tolerar sino a propiciar el desperdicio de una buena parte del líquido suministrado, ya sea por fugas o mal uso), proponemos lo siguiente:

1) Que se agoten todas las formas alternativas y sustentables de abastecer de agua a estas comunidades.

2) Que se obligue al Beneficio Bola de Oro y a las industrias río arriba a limpiar el agua servida que vierten al río Pixquiac, y que las ciudades de Xalapa y Coatepec dejen de verter sus aguas contaminadas a los distintos cuerpos de agua de esta cuenca.

3) Que se lleve a cabo un diagnóstico veraz y confiable del agua suministrada, el agua consumida y el agua desperdiciada actualmente en todo el municipio, y se proceda a corregir la situación lo antes posible.

4) Que el Municipio obligue a los nuevos fraccionamientos a garantizar el abasto de agua mediante formas alternativas a los proyectos de entubamiento, y a que incluyan sistemas de tratamiento y reciclado de aguas servidas.

Así pues, las organizaciones de la sociedad civil representadas en este escrito y los ciudadanos aquí presentes solicitamos atentamente a las autoridades de este municipio que el proyecto Sistema Múltiple de Agua Potable El Grande, Puerto Rico, Las Lomas, Bella Esperanza, Tuzamapan, Coatepec, Ver. sea suspendido inmediatamente y en definitiva, y que los recursos municipales invertidos en su realización sean empleados en asegurar formas sustentables de abastecimiento.

Por supuesto, los intereses de los desarrolladores eran y siguen siendo, el argumento más poderoso para los municipios, y en este caso son las 5 comunidades las que sirvieron como excusa de la cual partir, pues seguramente, antes de que el proyecto de construcción termine y el periodo municipal se renueve, las citadas 5 poblaciones, verán esfumar su promesa de agua, pues en la zona intermedia de la tubería que los abastecería de agua potable, se encontrarán seguramente con muchas otras promesas y exigencias de conexión, que les limitará su suministro y les impedirá disfrutar lo que en el Proyecto a su nombre, prometía.

En estas fechas de Abril de 2013, la instalación de los 28 Km de tubería está concluyéndose, justo por donde a la par se construye la carretera del *Libramiento de Coatepec*, que junto con los citados fraccionamientos tipo *Casas GEO*, el crecimiento habitacional explosivo y desordenado, así como la combinación con el llamado *Corredor Industrial* de la Llamada Calle de Las Haciendas, darán cuenta del vital liquido que correrá rumbo a los 5 poblados en promesa, ...pero no se sabe si el agua les alcanzará a llegar... o hasta cuándo.

## **1.9 EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL RIO Y LA DELIMITACIÓN DE LA ZONA FEDERAL**

Como antecedente a este punto, podemos señalar que una de las más utilizadas respuestas de las autoridades Municipales o de la propia CONAGUA, ante las exigencias ciudadanas de intervención legal para detener las invasiones o daños al espacio Federal del Río Pixquiac, era el relacionado con la “importancia” de sorprender en flagrancia a los denunciados, asunto que muchas veces fue solicitado, pero que pocas o ninguna ocasión fue atendido con premura.

Otra excusa similar fue utilizada en repetidas ocasiones por la CONAGUA, de no poder intervenir legalmente contra los infractores, debido a la carencia de un fundamento legalmente establecido como lo es la determinación de los linderos que delimitan la Zona Federal del río, en este caso el Pixquiac. Se nos explicó que el NAMO, *Nivel de Aguas Máximas Ordinarias*, no es una medida simple de los 10 metros que se pueda establecer en cualquier momento, midiendo los bordes de un río, sino solo como el resultado de un cálculo o modelización que requiere una medición topográfica detallada, así como la utilización de registros hidrológicos históricos de la Cuenca.

De tal manera pareció ser pernicioso ésta carencia de legalidad, que la comunidad través de la representación de la AVP-Z, propuso a la CONAGUA financiar el levantamiento topográfico del Río Pixquiac, en su tramo comprendido en la Congregación de Zoncuantla, si la CONAGUA por su parte aceptaba reconocer ese estudio y tomarlo como punto de partida para realizar la Delimitación formal de la Zona Federal. Debemos recordar que esta determinación de la comunidad quedó asentada incluso en el documento ya presentado en la sección 1.7 del *Manifiesto de Acuerdo Conjunto por la Preservación del Río Pixquiac*.

Vale señalar que la CONAGUA aceptó formalizar este acuerdo, entregando el 20 de Febrero de 2011 a la AVP-Z, un documento en el que señala la importancia de realizar este trabajo y reconoce el ofrecimiento de la Asociación para realizar con la empresa *Balbot Constructora*, los trabajos de topografía y batimetría en el cauce y ribera del Río Pixquiac.

Vale señalar en este punto, la magnífica disposición de parte de los propietarios de la empresa Balbot Constructora, para ofrecer una cotización favorable así como facilidades económicas de pago parciales, para poder reunir los fondos necesarios a través de la colecta de aportaciones voluntarias de parte de los vecinos de la comunidad.

De esta manera, con la participación voluntaria de algunos pocos vecinos que participaron en la Brigada de Topografía, así como ayudantes ocasionales (Jardineros y mozos) ofrecidos por algunos propietarios colindantes para poder trabajar entre la vegetación riparia, mas la asistencia algunos días de personal de jardinería del Municipio de Coatepec, se realizó el Levantamiento Topográfico del Río Pixquiac-Zoncuantla.

La información general resultante puede resumirse con los datos siguientes:

- 12 Jornadas efectivas de Trabajo, realizadas entre el 02 y el 26 de Abril de 2012 (aprox. 350 metros medidos/día).
- Participación de un Topógrafo Profesional con equipo de Estación Total (modelo Sokkia 650RX), un par de *Cadeneros* con prisma y el auxilio de 2 a 4 ayudantes para preparar, colocar estacas y despejar la vegetación riparia cuando resultaba necesario.
- 4,218.5 metros de recorrido longitudinal del río en su paso por Zoncuantla.
- Aproximadamente 21.7 Ha de poligonal registradas, de las cuales 4.42 Ha son de cauce de río.
- 101.23 metros de desnivel (1,338.19 msnm – 1,236.96 msnm).
- 2.4% de pendiente promedio, 2.4 m de desnivel promedio por cada 100m de recorrido del río.
- 10.35 metros de anchura media, 21 m de anchura máxima y 5.8 m de anchura mínima del río.
- Presencia de 4 puentes de concreto (1 peatonal), 2 vados, 4 puentes colgantes y 1 puente combinado de bambú-tubular-concreto.
- 2,361 puntos registrados.
- 66 Estaciones de Topografía.
- 12 Bancos de Nivel establecidos.
- 21 Secciones transversales del río (15 a 20 metros del borde del río, ambos lados) cada 20 m de recorrido, como fue solicitado por CONAGUA para el cálculo de la Zona Federal.
- 21 Planos Topográficos de 90 X 60 cm elaborados a escala 1:1,500.
- Pago de \$30,000.00 a la empresa *Balbot Constructora*, mas gastos adicionales marginales.

De esta forma, el 27 de Junio de 2012, se entregó al Director del *Organismo de Cuenca Golfo Centro* de la CONAGUA, un CD grabado con archivos digitales de la información topográfica procesada en *Civilcad*, así como también archivos en formato pdf, en la forma de 21 Planos (de 90 X 60cm), que contienen tramos del río Pixquiac, con vistas en planta y en perfil, así como 210 secciones del río o cortes transversales, obtenidos cada 20 metros de recorrido del río Pixquiac, en su recorrido de aprox. 4,200 metros por Zoncuantla, desde la colindancia con el Municipio de San Andrés Tlalnahuayocan, hasta los límites del *Fracc. Villas del Pixquiac* donde termina la congregación de Zoncuantla e inicia la congregación de Consolapa, Coatepec, Ver.

La entrega de los archivos topográficos correspondientes, permitió que 4 meses después, el 17 de octubre de 2012, las autoridades de CONAGUA, nos hicieran entrega formal de 7 planos impresos (escala 1:1000) de 90 X 60cm registrados como OCGC-DT-DZF-094/12, marcados con fecha septiembre- 2012, titulados: *Delimitación de la Zona Federal y Cauce de un Tramo del Río Pixquiac, a la Altura de las Localidades de la Pitahaya y Mariano Escobedo, Municipio de Coatepec, Ver.*

De igual forma, meses después, las mismas autoridades aceptaron hacernos entrega de una copia de los archivos digitales en programa *Autocad 2010*, de la información topográfica obtenida y la delimitación de la Zona federal, con la salvedad que estos archivos no estuvieran formateados en la misma forma que los 7 planos entregados, sino en un solo archivo general conjunto.

Sin embargo, lo que no se nos explicó antes, fue que existe una diferencia muy grande entre los conceptos de “*Delimitación*” de la Zona Federal, que se realiza exclusivamente sobre un Plano impreso y lo concerniente a la “*Demarcación*”, procedimiento mediante el cual se establece físicamente esa delimitación sobre el terreno, procedimiento que para realizarse, exige todavía una

serie más complicada y difícil de trámites aún no realizados, misma que al decir de las autoridades técnicas de CONAGUA, “...no nos recomendaban realizar”

...En este sentido nos fue señalado que para continuar la tramitación, se requería por ejemplo, información oficial de los planos y las colindancias de todos y cada uno de los terrenos colindantes al río, así como el cumplimiento de un protocolo legal en el terreno mismo junto al río, para la realización de una Acta Circunstanciada con cada uno de los propietarios de los terrenos colindantes al río, en presencia de representantes de 5 o 6 instituciones, tramitación que entre otros procedimientos legales, se le concede a cada uno de los propietarios de los terrenos colindantes, la oportunidad de inconformarse, con lo cual se tendría que iniciar un litigio, que al decir de las autoridades, “...podría prolongarse por más de 10 años de conflicto legal, que incluso podría perderse por parte de CONAGUA a favor del propietario...”

Ante estas expectativas tan poco favorables, la recomendación más conveniente por parte de las Autoridades Técnicas de CONAGUA, era la de detener el trámite en ese nivel y procurar por nuestra sola parte ciudadana, realizar toda clase de concientización social con los propietarios colindantes al río, para establecer acuerdos y acciones voluntarias, entre las cuales cada propietario obtuviera formalmente la concesión de la Zona Federal o aceptar cederla a la organización conjunta de la Asociación de Vecinos...

Así las cosas, parece que la expectativa de lograr una verdadera regulación y respeto de la zona Federal de un río, que aunque se encuentre plasmado en el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, como propiedad de la Nación y previsto en el artículo 3º fracción XLVII de la Ley de Aguas Nacionales y fracción 4º de su Reglamento, esa franja de 10 metros de anchura contiguas al cauce, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias asociadas a un periodo de retorno de 5 años, parece que seguirán siendo tierra de todos y de nadie...

### **1.9.1 Caudal Ecológico y Veda**

Complicación similar o aún más aguda parece encontrarse en el concepto de *Caudal Ecológico*, que a la fecha cuenta ya con una Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 que “*Establece el Procedimiento para la Determinación del Caudal Ecológico en Cuencas Hidrológicas*”, por medio del cual se define “*la cantidad, calidad y variación del gasto o de los niveles de agua reservada para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales. Esto implica que además proveer agua para los usos doméstico, público urbano, pecuario y agrícola, es posible mantener caudales provenientes tanto del escurrimiento, como de las descargas de los acuíferos para la conservación de los ecosistemas lóticos (ríos perenes, intermitentes y efímeros), lénticos (lagos, lagunas, y humedales) y riparios con la aportación de los acuíferos al ecosistema, que sirven para conservar la biodiversidad y los servicios ambientales*”.

Esta norma señala las metodologías correspondientes para la determinación de caudal ecológico, como una medida de regulación de la explotación, uso y conservación del agua para proteger los ecosistemas relacionados, con la finalidad de propiciar un desarrollo sustentable en las cuencas hidrológicas. Sin embargo, mas adelante señala que: “...*En los casos de que la corriente o cuerpo de agua se localice en cuencas sin disponibilidad o en veda, será posible determinar el caudal ecológico, sin embargo, no podrá ser otorgado administrativamente.*”

En este sentido vale recordar que el Río Pixquiac forma parte de la Cuenca La Antigua y que como se señaló en el subcapítulo **1.2.6** “...se propone la modificación de las vedas para permitir concesiones para los usos no consuntivos acuícola, generación de energía eléctrica, recreación, turismo u otros, los cuales no alteran la cantidad del agua en la cuenca, ya que éstos usos regresan la totalidad de los volúmenes a la misma. Así como para el uso público urbano, en la medida que la disponibilidad de ésta cuenca hidrológica lo permita, y sin deteriorar el equilibrio hidrológico y ambiental en la misma.

## **1.10 LOS INTENTOS DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO, TERRITORIAL**

La comunidad rural campestre asentada en Zoncuantla, reconoce que se encuentra en un espacio intermedio entre una ciudad capital del Estado, Xalapa y otra ciudad capital municipal como es Coatepec; entiende igualmente que existe ya un decreto de conurbación más amplio en el que se encuentra incluido, mediante el cual la mancha urbana lo puede alcanzar desde ambos flancos.

En estas condiciones, a nuestro parecer, la comunidad puede tomar una de dos alternativas inminentes:

Simplemente esperar a que esto suceda, aceptando al mismo tiempo que el crecimiento urbano avance, modifique y termine por cubrir y eliminar las zonas antes consideradas como Patrimonio Natural, o bien,

Establecer y defender con lineamientos sólidos y consistentes de Ordenamiento Ecológico Territorial, que le permitan proteger este Capital natural, definiendo y delimitando con estricto rigor, los espacios que deben ser resguardados por una parte, así como las condicionantes y parámetros establecidos para regular los espacios establecidos para vivienda, infraestructura, uso del suelo, arquitectura del paisaje, proyectos arquitectónicos, obras adyacentes, etc.

Vale la pena señalar en este sentido, que en 1993 se presentó un Plan Parcial del Corredor Xalapa-Coatepec, realizado por el Arq. Alberto Robledo para el Gobierno del Estado, donde se desprende la identificación y delimitación de los usos del suelo en un territorio que abarcó desde la salida de Xalapa hasta la llegada a Coatepec y que sirvió para delimitarla dentro de la Actualización del Programa de Ordenamiento de la Zona Conurbada de 1998.

Posteriormente con la *Actualización del Plan de Ordenamiento de la Zona Conurbada de Xalapa, Banderilla, Coatepec, Emiliano Zapata, San Andrés Tlalnahuayocan* de 2004, se le incluyó igualmente dentro del área correspondiente a Coatepec en lo que se llamó *Zona Especial 4 (ZE-4)*.

Cuando así se hizo, esos suelos identificados como *Reserva Ecológica Restrictiva* quedaron protegidos además del *Programa de Ordenamiento Urbano, también por la Ley de Desarrollo Regional y Urbano para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave*, que de acuerdo a su Artículo 33 establece que: "*Las reservas ecológicas de un centro de población o zona conurbada corresponden a las áreas no urbanizables y tendrán el carácter de área natural protegida, según lo establecido por la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado*".

Importa también el Artículo 40 de la misma ley que dice "*Se consideran áreas naturales protegidas, en los términos de la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, las zonas que, formando parte de los centros de población o zonas conurbadas, sean establecidas*

por los programas como sujetas a conservación, preservación o se les hubiere otorgado el carácter de zonas con uso restringido”.

Sin embargo, este Plan Parcial o *Zona Especial ZE-4*, fue sustituido por la elaboración de un nuevo Ordenamiento de la zona conurbada, de fecha 2007, mismo que considera a todo Zoncuantla dentro de una misma clasificación o categoría, que al parecer permite una densidad habitacional de hasta 30 viviendas por hectárea, valor que por supuesto resulta inadmisibles para esta región.

#### **1.10.1 Reglamentos de lotificación y construcción de vivienda.**

En un nivel más local y restringido, podemos señalar el documento autorizado como “*Reglamento de la Lotificación de Huertas Familiares La Pitaya*”, mediante el cual se aprobó en 1991 la lotificación del Fraccionamiento La Pitaya. En este documento, se establecen disposiciones generales, fundamento legal para aspectos tales como uso del Suelo, arquitectura del paisaje, cubiertas y elementos arquitectónicos exteriores, infraestructura, proyecto y obras adyacentes.

Se menciona y señalan allí disposiciones sobre bardas, cantidad de pisos, captación de agua de lluvia, cisternas, tratamiento de aguas, densidad de vivienda, calles, empedrados, arbolado, techos, instalaciones, alturas máximas de construcción y otras relacionadas con el objetivo de procurar armonía con el paisaje, conservar la vegetación y mantener una baja densidad de población.

Este documento solo tiene alcance legal para el propio fraccionamiento establecido, formando parte del apéndice de cada una de las Escrituras en la operación de compra venta de lotes, pero de alguna manera, aún sin posibilidades aplicación legal, sirve como referencia útil para recomendar su observancia fuera del ámbito de dicho fraccionamiento.

Sin embargo, cualquier normatividad recomendable resulta insuficiente y rebasada, si las autoridades municipales en gestión, permiten y aprueban proyectos fuera de estos preceptos, con lo cual toleran y descuidan la deseada armonía de paisaje y la preservación ecológica.

Al parecer de esta comunidad, las ideas básicas son simples y sencillas pero no siempre se consiguen; se requiere una densidad baja habitacional, para que el agua potable alcance; los terrenos deben ser de al menos 2,000 m<sup>2</sup> para que cada casa pueda tratar sus propias aguas servidas, para poder captar y almacenar agua de lluvia, así como para que se puedan conservar arboles nativos, vegetación y sobre todo el río saludable, para que las casas no se interfieran unas con las otras; se prefieren límites de propiedad solo de vegetación, para que pueda permitirse la circulación de algunos animales nativos y para evitar las bardas que aíslan por completo las viviendas. Se prefieren caminos de empedrado, para reducir la velocidad de los vehículos y favorecer la circulación peatonal; se autoriza solo vivienda unifamiliar, no comercial; se debe evitar la creación de fraccionamientos o condominios horizontales que aíslan sus viviendas y restringen la circulación a su interior, para mantener la integración de la comunidad completa. Se piden no llegar a tres pisos de construcción, para evitar que las casas superen la copa de los arboles, así como impedir la creación de edificios o multifamiliares.

Un último y reciente desafío parece amenazar la unidad existente al interior de la Asociación de Vecinos, debido a la controvertida propuesta de uno de sus miembros de Consejo más reconocido, al proponer para la comunidad misma de Zoncuantla, un proyecto arquitectónico para construir 3 edificios contiguos de 4 pisos cada uno para 24 departamentos, en un terreno de 1 Ha, originalmente destinado para 5 viviendas.

Este tema ha desatado una polarización de opiniones contrarias, por pretenderse obtener un aval de parte de la Asociación hacia el Municipio; Se ofrece como un concepto novedoso y de baja ocupación de terreno, pero rompe claramente los preceptos de vivienda unifamiliar, densidad, altura de construcción y consumo de agua, lo que contraviene los principios fundamentales de un uso de suelo residencial campestre de bajo impacto.

Pareciera que internamente será necesario nuevamente revisar, discutir, definir y establecer los criterios de lotificación y construcción de vivienda que resulten justificables, que no generen repercusiones o precedentes negativos que más adelante resulten más difíciles de detener...

## 2 PERSPECTIVAS Y CONCLUSIONES

Como se podrá reconocer aquí, después de presentar este mosaico tan complejo e inacabado de registro de las diferentes aristas y problemáticas de una comunidad, resulta demasiado difícil pretender establecer y mantener una organización o acuerdo social, cuando existe una diversidad social, económica, cultural tan amplia como la de la comunidad de Zoncuantla.

Es por tanto necesario favorecer la organización a diferentes niveles, zonificando las distintas problemáticas y prioridades de cada colonia de Zoncuantla, en función de sus propias condiciones, características y necesidades, identificando en todo caso, los aspectos que resultan comunes y que puedan favorecer la creación de acuerdos generales, declaraciones de principios válidas para todos, desarrollando programas en los dos niveles, específicos para cada componente, al igual que generales, que unifiquen y fortalezcan una misma identidad.

Este mismo principio resulta válido hacia afuera, de relación con comunidades hermanas de la misma región, reconociendo que las zonas periurbanas por ejemplo, se encuentran con problemas muy similares y además comparten por ejemplo una misma región o similar ecosistema. En este sentido debe favorecerse entonces, la visión de cuenca, la relación armónica entre ciudad y el campo circundante, la hermandad entre agrupaciones, la autogestión y sobre todo la interlocución con las autoridades, pues de otra forma no se puede desarrollar un ciudadano, ni mucho menos se pueden abordar conceptos de responsabilidad social, sustentabilidad y armonía con el entorno.

De esta forma, podemos decir que la *Asociación de Vecinos del Pixquiac-Zoncuantla, A.C.*, se congratula y fortalece de poder intercambiar y participar a muy diferentes niveles, con agrupaciones tales como El COCUPIX (*Comité de Cuenca del Pixquiac*), con SENDAS, A.C. (*Senderos y Encuentros para un Desarrollo Autónomo Sustentable*), con VERS (*Vecinos del Río Suchiapa, A.C.*), con los *Vecinos de Briones*, con IMCAS-X (*Iniciativa de Monitoreo Ciudadano de Calidad del Agua y Saneamiento de Xalapa*), con GWW-Mex. (*Global Water Watch-México*), así como con compañero y amigos de instituciones y entidades públicas que simpatizan y comparten nuestros principios y valoran los esfuerzos ciudadanos de nuestra comunidad.

Tal como ha sido planteado por los especialistas, el bosque mesófilo de montaña del centro de Veracruz, ha quedado reducido a fragmentos relativamente aislados entre sí. Estos bosques tienen una importante diversidad que se debe proteger como áreas naturales, promoviendo la conservación y restauración de corredores biológicos, paisajísticos que conecten los fragmentos a través de bosques riparios, zonas forestales y paisajes agropecuarios favorables a la diversidad, tales como los cafetales de sombra.



En cualquier caso, una estrategia de conservación viable y exitosa debe ser compatible con el desarrollo económico regional y la conservación de los servicios ambientales que beneficien a las poblaciones humanas residentes (Williams-Linera *et al*, 2007).

Como lo señalan los Derechos Humanos de Tercera Generación, “...*el derecho al desarrollo no puede nunca justificar la destrucción del sistema ecológico en aras del progreso material. La defensa del medio ambiente no puede traducirse en impedimento al desarrollo integral, pero la destrucción del equilibrio ecológico, consecuencia de las políticas de crecimiento indiscriminado e incontrolado, obliga a reconocer la responsabilidad que esto implica y a no negar la posibilidad de un desarrollo racional equilibrado y humano a los pueblos en desarrollo. El derecho ambiental está fundado en la necesidad de su plena, inmediata y eficaz aplicación, como condición indispensable para que mañana pueda existir vida humana*”.

*La norma que impone al Estado el deber de adoptar las medidas necesarias para evitar la destrucción de los recursos naturales, se encuentra contenida en el párrafo segundo y tercero del artículo 27 constitucional; tienen como finalidad la prevención eficaz, mediante la protección del ambiente y los recursos naturales; Estos principios han sido erigidos al rango de Principio constitucional, denominado de Conservación y Protección de los Recursos Naturales.*

Sobre este punto en específico, consideramos importante transcribir lo que al respecto sostuvo el Lic. Raúl Brañes en su obra “*Manual de Derecho Ambiental Mexicano*”, segunda edición, editado por el Fondo de Cultura Económica:

*“La reforma que se hizo al artículo 27 constitucional consistió en una adición a su párrafo tercero, en virtud de la cual quedó incorporada en ese texto la idea de que, como consecuencia del derecho que la nación tiene en todo tiempo de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, se dictarían las medidas necesarias, entre otras, “para preservar y restaurar el equilibrio ecológico”. Con esta reforma pasó a formar parte de la Constitución Política el principio de que es un deber del Estado velar por la protección del ambiente, entendida en el sentido de una protección integral del mismo.*

*Dicho principio no era totalmente ajeno a la Carta Fundamental, pues, como se ha visto, diversos preceptos suyos ya se ocupaban de manera parcial de la protección del ambiente circunscrita a la protección de ciertos componentes suyos o de la regulación de algunas actividades que lo afectan, mediante la incorporación de una concepción de la protección integral del ambiente. En efecto, “preservar y restaurar el equilibrio ecológico” significa preservar y restaurar esa relación de estabilidad dinámica entre todos los elementos que configuran un determinado ambiente y que es, en último término, la que hace posible las formas de vida que existen en su interior”.*

Cada uno de los temas y secciones que han sido señalados en este documento, han dado como resultado en la comunidad de Zoncuantla, una perspectiva compleja y difícil de regular, con autoridades de gobierno municipal cambiantes cada tres años, que resultan casi siempre tolerantes y discrecionales a la aplicación de las normas y preceptos legales existentes, así como también enfocados preferentemente a la realización de obras de infraestructura (calles, caminos, carreteras, casas, etc.), pero pocas veces o nunca, conscientes o preocupados de proteger o asegurar la preservación de sus recursos o patrimonio natural.

Y el problema no es que no existan normas o preceptos, sino simplemente porque estos existen solo en papel y no conllevan la determinación política de su aplicación real y escrupulosa. Esto por supuesto, no parece una problemática privativa de una comunidad o un Municipio, sino de un país entero, pero es aquí en estos dos niveles de organización social, que su aplicación se determina o aplica.

Es en este nivel de autoridad local-Municipal en el cual se otorga por ejemplo, el permiso a una empresa constructora, para establecerse a la orilla de un río, sin exigirle o condicionarle al mismo tiempo, garantías suficientes para asegurar la sobrevivencia de la vegetación riparia de un río y no solamente pedirle que no construya en los 10 metros contiguos definidos por la ley.

Es casi un precepto, que al fin de una gestión Municipal, la autoridad saliente autorice una última racha de permisos de obra, no otorgados en el resto de su periodo, para evitar cuestionamientos, oposición o problemas posteriores; sin embargo, ya en las postrimerías de su gestión, estos permisos se conceden, dejando por supuesto a la gestión municipal entrante, la tarea de soportarlos, sin oportunidad de rechazarlos... esto sucede aún mas cuando se trata de un cambio de bandera o de partido político... y como la “Regla de Oro” es casi siempre tolerar estas jugadas, para en su momento hacer las propias, entonces la secuencia no se acaba, sino se reproduce y se imita.

Un ejemplo adicional a esta discrecionalidad, estriba en esta región Veracruzana, la originada por el Decreto de Conurbación de Xalapa, Banderilla, Coatepec, Tlalnelhuayocan y E. Zapata ya mencionado, en donde se entiende que por la sola aceptación formal de las partes, lleva implícita el sometimiento de los planes particulares de cada municipio, al acuerdo y la coordinación conjunta, pero que en la práctica solo se respeta, cuando conviene; cuando no, se alude por ejemplo, al artículo 115 Constitucional, que señala y describe la “Autonomía” Municipal, que por supuesto no autoriza desatender acuerdos o preceptos legales superiores....

La Octava Reforma al artículo 115 constitucional (3 de Feb 1983) capítulo VI dice así: *“Cuando dos o más centros urbanos, situados en territorios municipales, de dos o más entidades federativas, forman o tienden a formar una continuidad demográfica, la federación, las entidades federativas y los municipios respectivos, en los ámbitos de sus competencias, planearán y regularán de manera conjunta y coordinada el desarrollo de dichos centros con apego a la ley federal de la Materia.*

*...Otorgándole a la Legislatura de los Estados la atribución para el otorgamiento de facultades en materia ecológica y de reserva territorial (Rodríguez Valadez, 2012).*

Entiéndase con estos preceptos, un solo ejemplo ya presentado en el subcapítulo 1.8.1: la incapacidad legal que tiene un Municipio conurbado como el de Coatepec, para otorgar un cambio de uso de suelo, mucho menos dentro de una categoría estatal de zona de *Reserva Ecológica Restrictiva*, que no puede ser aprobado sino mediante modificación y aprobación previa por parte de la Legislatura del Estado.

Ha sido una historia cambiante, la que esta comunidad y la región circundante ha tenido, con respecto de los ordenamientos territoriales y urbanos, que han ido modificando no solo las perspectivas de preservación ecológica de largo plazo en la región, sino que pueden llegar a provocar la eliminación completa y total de las últimas zonas de preservación regionales, dejando la completa libertad de disponer del territorio ocupado antes por bosques, a la ocupación con

vivienda, el crecimiento de la mancha urbana y el consiguiente deterioro del patrimonio local regional existente, pero que nunca atienden la posibilidad de la rehabilitación ecológica por ejemplo.

Igualmente nocivos por insuficientes y limitados resultan los lineamientos del artículo 292 del *Código de Procedimientos Administrativos del Estado de Veracruz*, que conceden un plazo no mayor a 15 días, para presentar una demanda en un *Juicio Contencioso Administrativo* contra la autoridad; según este precepto legal, de no cumplirse en tiempo y forma, revela según esto “conformidad” del acto, es decir se considera consentido tácitamente, o si fuere presentado pero fuera del periodo establecido, declararse sobreseimiento por extemporaneidad:

*“Artículo 292. La demanda deberá formularse por escrito y presentarse directamente ante la sala Regional con Jurisdicción territorial en el Municipio en el que tenga su domicilio el demandante, dentro de los quince días siguientes al en que surta sus efectos la notificación del acto o resolución que se impugna, o al en que se haya tenido conocimiento del mismo...”*

Considérese que para la notificación de un acto de autoridad, puede mediar solamente la presentación del acuerdo de gobierno en un *Tablero de Avisos* de la Oficina Municipal, lo que difícilmente puede generar el conocimiento amplio de la ciudadanía, máxime cuando se puede tratar de un acuerdo contrario al interés colectivo o que contravenga los preceptos o el alcance legal de una autoridad. Bajo todas estas circunstancias, existe un margen muy angosto de regulación y vigilancia ciudadana y aún más estrecho para la supuesta y deseable interlocución entre ciudadanos y autoridad. Lo que queda es muchas veces, la necesidad de la movilización, la protesta, la inconformidad, y en todo caso, la autogestión y la organización social.

## AGRADECIMIENTOS

La lista sería muy larga y seguiría siendo incompleta; por ello quisiéramos simplemente poder agradecer la participación de todos y cada uno de los colaboradores de este esfuerzo colectivo, ciudadano, comunitario, que resulta de la suma y la sinergia de muchas voluntades, algunas de las cuales fueron mencionadas aquí, pero algunas otras no aparecen y por supuesto, sin cuya ayuda, este trabajo no sería posible.

## REFERENCIAS

- 2010 INEGI, Censo Poblacional y de Vivienda. <http://www.censo2010.org.mx/> (Visitado en Abril 2013)
- 1889 Strebel, Hermann, El México Antiguo, Contribuciones Arqueológicas para la Historia Cultural de sus Habitantes. Voss, Hamburgo, Alemania.
- 1885 Strebel, Hermann, Alt-Mexiko. Archäologische Beiträge zur Kulturgeschichte seiner Bewohner. Hamburgo, Alemania.
- 1904 Strebel, Hermann, Sobre los Ornamentos de la Cerámica del México Antiguo. Voss, Hamburgo, Alemania.
- 2012 Paré L. y P. Gerez (*Coordinadoras*). Al filo del agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiác, Veracruz. INE-SEMARNAT. México, D.F. 344p.
- 1987 Rossignol J.P. Morfoedafología del Área Xalapa Coatepec. Laboratorio de Investigación y Desarrollo Regional. Reconocimiento del Espacio Regional. ORSTOM-INIREB. Junio de 1987.
- 2004 CMAS-Coatepec, Indicadores de Abastecimiento y Consumo del agua en Zoncuantla, Documento elaborado por CMAS- Coa. , Nov 2004).

- 2007 Williams-Linera G., El Bosque de niebla del centro de Veracruz,; Ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. CONABIO – Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 208p.
- 1996 Williams-Linera G., I. Pérez-García y J. Tolome, El bosque mesófilo de montaña y un gradiente altitudinal en el centro de Veracruz, México. La Ciencia y el Hombre Vol. VII, Num.23, pp. 149-161.
- 2011 Destroza Víctor Arredondo el lecho del río Pixquiac; carece de permisos. La Jornada Veracruz. 05 May 2011. *Disponible en:* [http://www.jornadaveracruz.com.mx/Noticia.aspx?ID=110505\\_140635\\_500](http://www.jornadaveracruz.com.mx/Noticia.aspx?ID=110505_140635_500) (Visitado en Abril 2013).
- 2011 La Jornada Veracruz en línea. ¿Ecoturístico? (Primera Parte, Segunda Parte). *Disponible en:* <http://www.youtube.com/watch?v=R9drjIzsjM8>, [http://www.youtube.com/watch?v=eTL02\\_YC2dU](http://www.youtube.com/watch?v=eTL02_YC2dU) (Visitado en Abril 2013)
- 2004 Polanco-Medina C.D., Indicadores de Abastecimiento y Consumo del agua en Zoncuantla. CMAS-Coatepec, Ver. (*Documento de Reporte*) 13p.
- 2010 Deutsch W.G., S. Ruiz-Córdova, B. and L. Duncan. Community-Based Water Monitoring, A Practical Model for Global Watershed Stewardship. Global Water Watch Program, Auburn University, Alabama, USA. 182p.
- 2013 Flores-Díaz, A., M. Ramos-Escobedo, R. Manson, S. Ruiz-Córdova, G. Vidriales, W. Deutsch y E. Aranda-Delgado. Monitoreo Comunitario de Calidad del Agua: Retos y aprendizaje desde la perspectiva de Global Water Watch-México. III Congreso Nacional de Cuencas Hidrográficas. CIGA-UNAM. Morelia Michoacán, México.
- 2008 Aranda-Delgado E., R. Kral, A. Flores, M. Ramos, G. Vidriales y R. Manson. Monitoreo Comunitario del Agua. Asociación de Vecinos del Pixquiac-Zoncuantla, A.C.- Global Water Watch. *En:* Foro de Manejo Comunitario del Agua. Chilpancingo, Gro. 29 Feb.- 2 Mar. 2008. Grupo de Estudios Ambientales, A.C.
- 2008 Vidriales G. y E. Aranda-Delgado. Red de Monitoreo Comunitario del Agua de la Cuenca del Río Pixquiac: La calidad del agua en la mira ciudadana. Hoja informativa de divulgación. Edición propia. Sendas, A.C. –IIS-UNAM. 2p.
- 2011 ACUERDO por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Cuenca Hidrológica Río La Antigua de la Región Hidrológica denominada Papaloapan A. Consultado el 13 de Abril 2013, *Disponible en:* [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5227830](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5227830) (visitado en Abril 2013)
- 2012 Lineamientos para la protección y manejo sustentable de la microcuenca del Río Suchiapa. Vecinos del Río Suchiapa A.C., (VERS). 16 de Mayo 2012. *Disponible en:* <http://vers-ac.blogspot.mx/> (visitado en Abril 2013)
- 2012 Rodríguez Valadez, Juan Manuel. El Municipio Mexicano y la evolución del 115 constitucional. *Disponible en:* <http://www.slideshare.net/LuisMartinPerezSuarez/el-municipio-mexicano-y-evolucion-del-articulo-115-constitucional> (visitado en Abril 2013).
- 2007 Williams-Linera, G., A. Guillén Servent, O. Gómez García y F. Lorea Hernández. Conservación en el Centro de Veracruz, México. El bosque de niebla: ¿reserva archipiélago o corredor biológico? *En:* Halffter, G., S. Guevara y A. Melic (*Editores*). Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica. M3M: Monografías Tercer Milenio. Vol. 6, S.E.A., Zaragoza, España.
- ¿? Fernández Hernández, L.G. Excepción a la Garantía de Audiencia en Materia de Conservación y Protección de los Recursos Naturales. Oficina Noroeste del Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C. [lfernandez@cemda.org.mx](mailto:lfernandez@cemda.org.mx)

## MESA VII

### INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN PARA EL MANEJO DE CUENCAS



# HERRAMIENTA GEOGRÁFICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

José Alberto BALANCAN SOBERANIS, Jaime RIVERA BENITES  
Jaime VELAZQUEZ ALVAREZ

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac # 8532, CP 62550.  
Jiutepec, Mor., México  
balancan@tlaloc.imta.mx

## RESUMEN

Para la caracterización y conocimiento de la situación actual de los recursos naturales de una cuenca se necesita la información de su entorno geográfico.

La información generada en campo, habitualmente se almacena en diferentes formatos y de acuerdo a los requerimientos del estudio que se realiza, lo que ocasiona problemas de consistencia, nomenclatura, representación y almacenamiento; además esta información se maneja desligada de la espacial ocasionando problemas en la consulta y en la actualización.

El avance en las tecnologías de la información geográfica, permite el desarrollo de aplicaciones donde se almacenan capas geográficas y se establecen accesos para consultar la información documental asociada. En este trabajo se describe el desarrollo de un sistema de información geográfica (SIG) para clasificar, administrar, almacenar y asociar la información alfanumérica con la espacial, así como la visualización de capas geográficas y su información –documental- asociada en el mismo ambiente de trabajo.

La metodología aplicada en este desarrollo fue, generar y recabar la información de campo, diseñar e implementar la base de datos geográfica, desarrollar ventanas personalizadas para consultar y desplegar la información documental asociada con las capas geográficas.

La información documental se almacenó en diversos formatos como: Excel (xls), Word (doc), Acrobat (pdf), PowerPoint (pps), imágenes (jpg) y Video (AVI), creando archivos -en formato digital- en donde se registra la información de campo y los resultados de los análisis relacionados con los elementos geográficos de la cuenca en estudio.

**Palabras claves:** Caracterización, geodatabase, información documental, paisaje.

## 1 INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones relacionada con los recursos naturales en cualquier área geográfica, requiere de su información para conocer la situación actual en cuanto a la disponibilidad, calidad, demanda, localización y paisaje, también se precisa de modelos que permitan generar escenarios y evaluar los efectos que producirían ciertas acciones.

Los diferentes formatos en que se almacena la información generada en campo y la no integración de la misma, ocasionan problemas de consistencia, nomenclatura y representación. Además, generalmente las series de tiempo -datos históricos- y la información documental se manejan desligadas de la información espacial, ocasionando problemas de consulta y actualización de dicha información.

Por lo anterior -en el desarrollo de este sistema- se utilizó el modelo de datos conocido como Geodatabase, su construcción implica un proceso de abstracción para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada que pueda ser interpretada por las computadoras actuales, los datos que integran esta información se clasifican de acuerdo con su naturaleza en tres tipos: vectorial, raster y alfanumérico. Este proceso de abstracción tiene diversos niveles y generalmente comienza con la concepción de la estructura de la base de datos, en función de las capas de información a utilizar en el estudio.

En la base de datos geográfica la información se organiza en capas (*shapefiles*) de manera que cada capa representa un tipo de información geográfica.

En este trabajo se muestra la utilidad de la tecnología de sistemas de información geográfica para clasificar, administrar y asociar la información alfanumérica con la espacial, así como la visualización de capas geográficas y su información asociada en la misma plataforma de trabajo.

## 2 METODOLOGÍA

Se aplicó la siguiente metodología: generación, acopio y análisis de información, diseño e implementación de una base de datos geográfica (geodatabase) relacional, desarrollo de ventanas personalizadas por tema para la consulta de la información correspondiente, rutinas de acceso a la información documental.

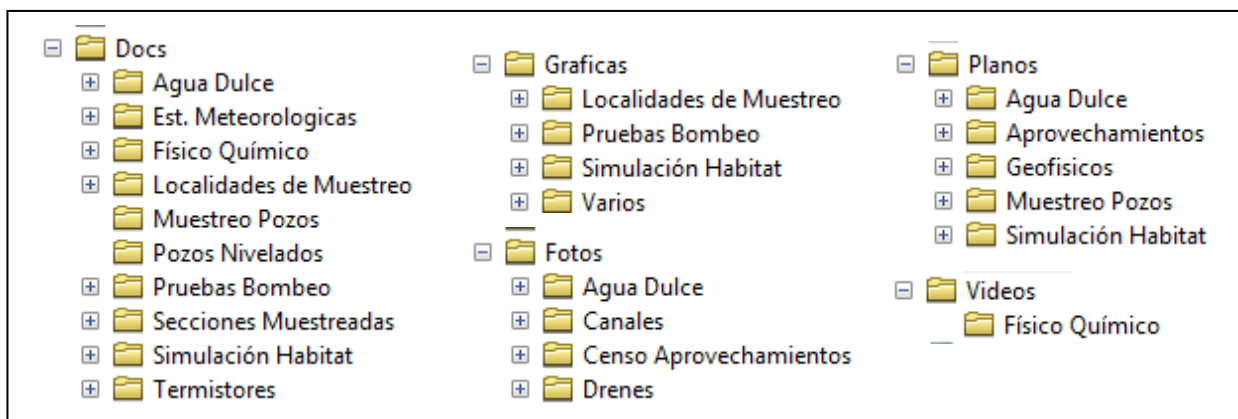
El modelo geodatabase, permite almacenar y administrar de manera estructurada datos espaciales con sus atributos y las relaciones entre ellos, agrupar datos en el mismo sistema de coordenadas geográficas y establecer relaciones con otros grupos de datos en formatos originales como: Excel (xls), Word (doc), Acrobat (pdf), Power Point (pps), imágenes (jpg) y Video (AVI), en donde se registra la información de campo y los resultados de los análisis relacionados con los elementos geográficos en estudio.

### 2.1 CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN

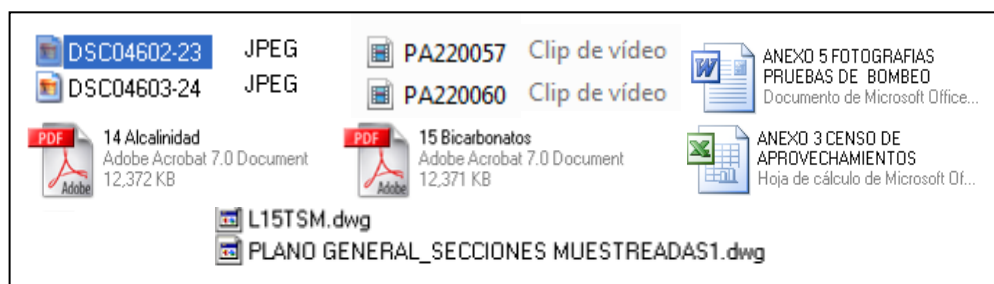
La información generada en campo se clasificó como: documentos, fotos, gráficas, planos, secciones y videos, se guardaron en carpetas con su formato original, los siguientes 11 temas generaron información documental:

Agricultura de riego transversales	Hidrología superficial	Secciones
Agua subterránea interés biológico	Información biológica	Áreas de
Calidad del agua fluvial	Hidrodinámica lagunar-costera	Hidráulica
Caudal ecológico	Áreas de interés biológico	





**Figura 1.** Carpetas de información documental clasificada por temas.



**Figura 2.** Formatos utilizados en la información documental.

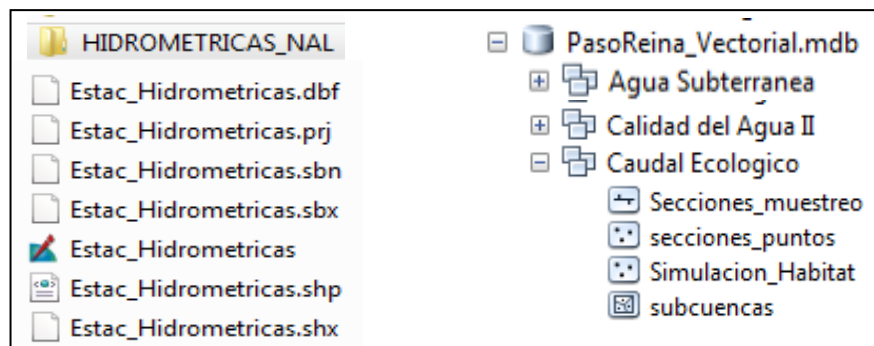
La información espacial consta de 111 mapas digitales -en formatos vectorial y raster- derivados de 14 temas, y está almacenada en la geodatabase correspondiente.

**Tabla 1.** Temas principales y sus mapas digitales correspondientes.

Tema	mapas	Tema	mapas
Áreas de interés biológico	14	Agricultura de riego	8
Información bilógica	1	Caudal ecológico	4
Hidrodinámica lagunar- costera	19	Evaluación multitemporal	15
Hidráulica fluvial	8	Medio físico	4
Hidrología superficial	11	Medio social	3
Agua subterránea	7	Zona de estudio	3
Calidad del agua	5	Información CFE	9

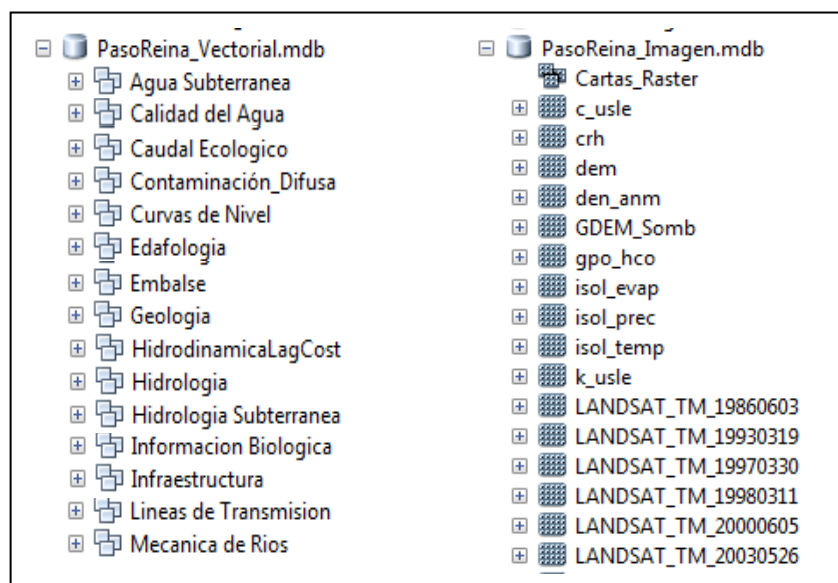
## 2.2 BASE DE DATOS

La plataforma ArcGis permite la implementación del modelo de datos basado en archivos y en una geodatabase, el primero consiste en un conjunto de carpetas en donde se almacena la información clasificada en temas y con una arquitectura definida (*shapefile*), el segundo almacena las coordenadas geográficas de los elementos en columnas dentro de una tabla de atributos, almacena información espacial y temporal (alfanumérica) en un solo contenedor.



**Figura 3.** Concepto de modelo de datos en archivos y de geodatabase.

Por las características de la información fue necesario crear dos Geodatabases Personales (plataforma Access) una para almacenar datos Raster y otra para almacenar datos Vectoriales.



**Figura 4.** Geodatabase: vectorial y raster.

## 2.3 HERRAMIENTA PARA PROGRAMACIÓN EN LA PLATAFORMA SIG

Se utilizó la herramienta Visual Basic Application -lenguaje nativo de programación de la plataforma- para desarrollar el menú de consulta de información asociada y datos descriptivos, el diseño y la creación de ventanas personalizadas en las cuales se despliega la información asociada pertinente a cada tema.

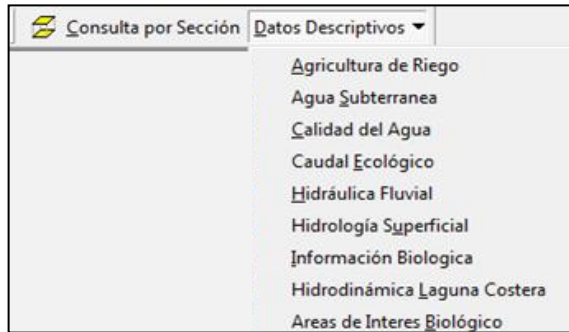


Figura 5. Menú para consulta de información asociada.

La opción de **Datos descriptivos** tiene implementadas las funciones para: mostrar y actualizar información descriptiva de las capas geográficas, acercar o resaltar elementos geográficos, agregar o modificar coordenadas, crear nuevos elementos geográficos, mostrar documentos asociados en formatos: Excel, Word, PowerPoint y Acrobat, mostrar imágenes, fotografías y videos. La opción de **Consulta por sección** se desarrolló para desplegar exclusivamente la información de las secciones transversales calculadas a lo largo del río Verde y permite lo siguiente: mostrar las fotos de la Margen Izquierda, Centro y Margen derecha; mostrar el perfil de la sección transversal y resaltar o acercar a la sección.

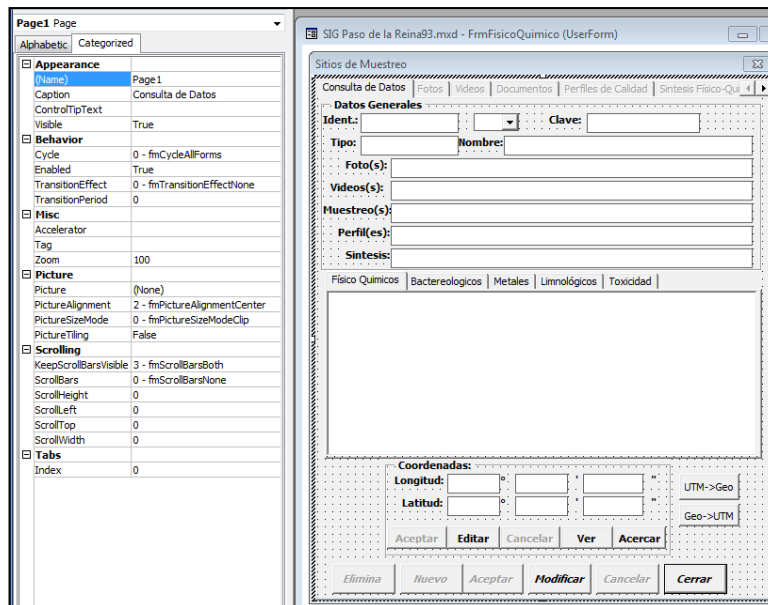


Figura 6. Diseño y desarrollo de ventana personalizada para despliegue de información asociada.

La herramienta de programación del sistema -Visual Basic Application- y las ventanas personalizadas, hacen posible relacionar cualquier documento digital con las capas geográficas almacenadas en la geodatabase.

### 3 SISTEMA PARA LA CONSULTA DE INFORMACIÓN DOCUMENTAL

La interfaz gráfica del sistema contiene las herramientas necesarias para el despliegue y análisis de la información geográfica y numérica integrada en la geodatabase, el menú para la consulta de la información asociada se implementó en la barra del menú principal de la interfaz gráfica del sistema ArcGis.

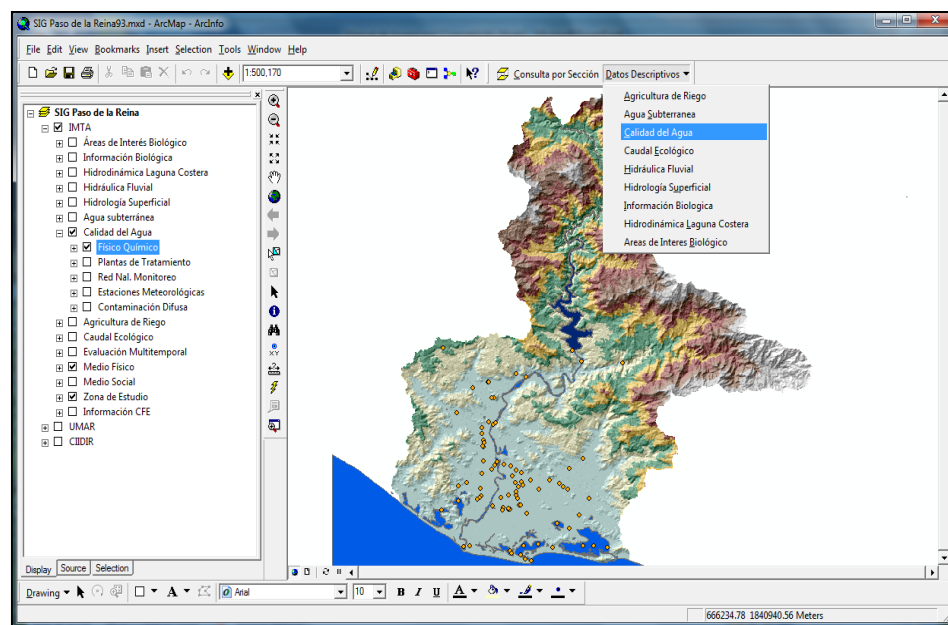
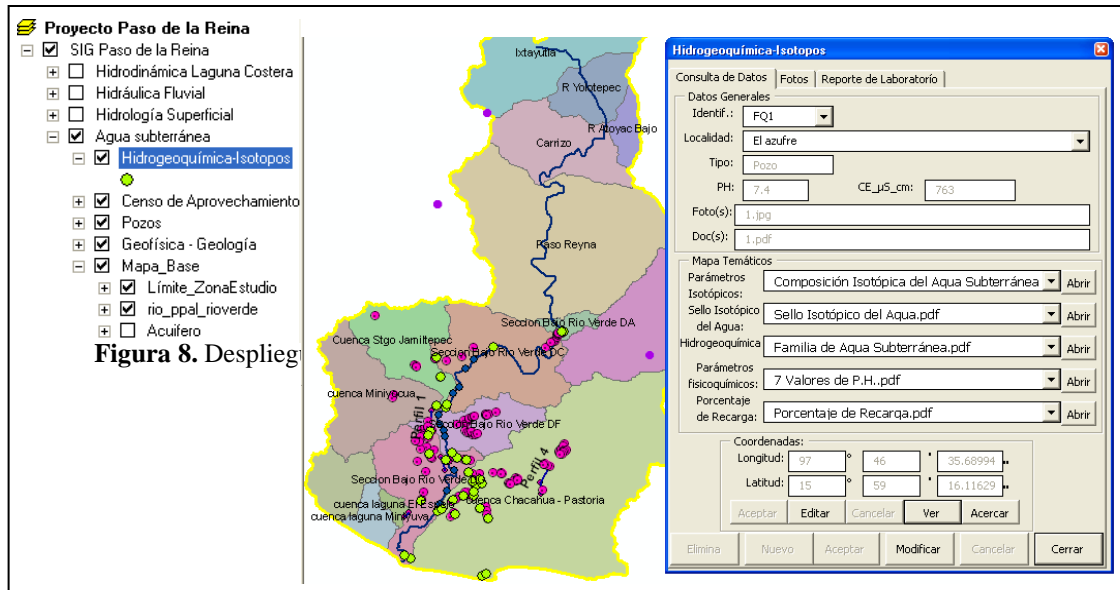


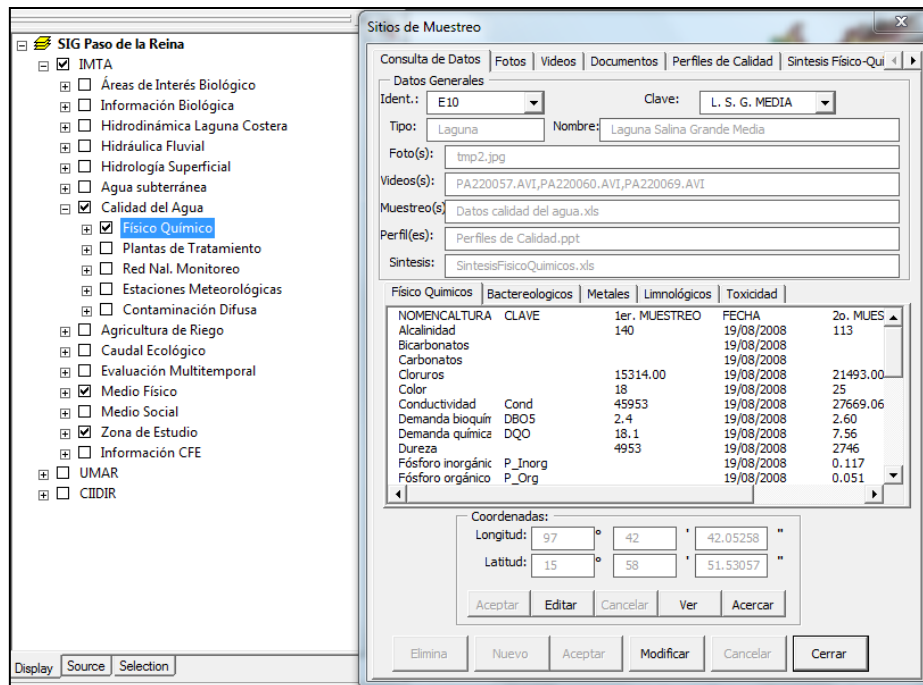
Figura 7. Interfaz gráfica del sistema.

#### 3.1 CONSULTA DE LA INFORMACIÓN ASOCIADA CON CAPAS GEOGRÁFICAS

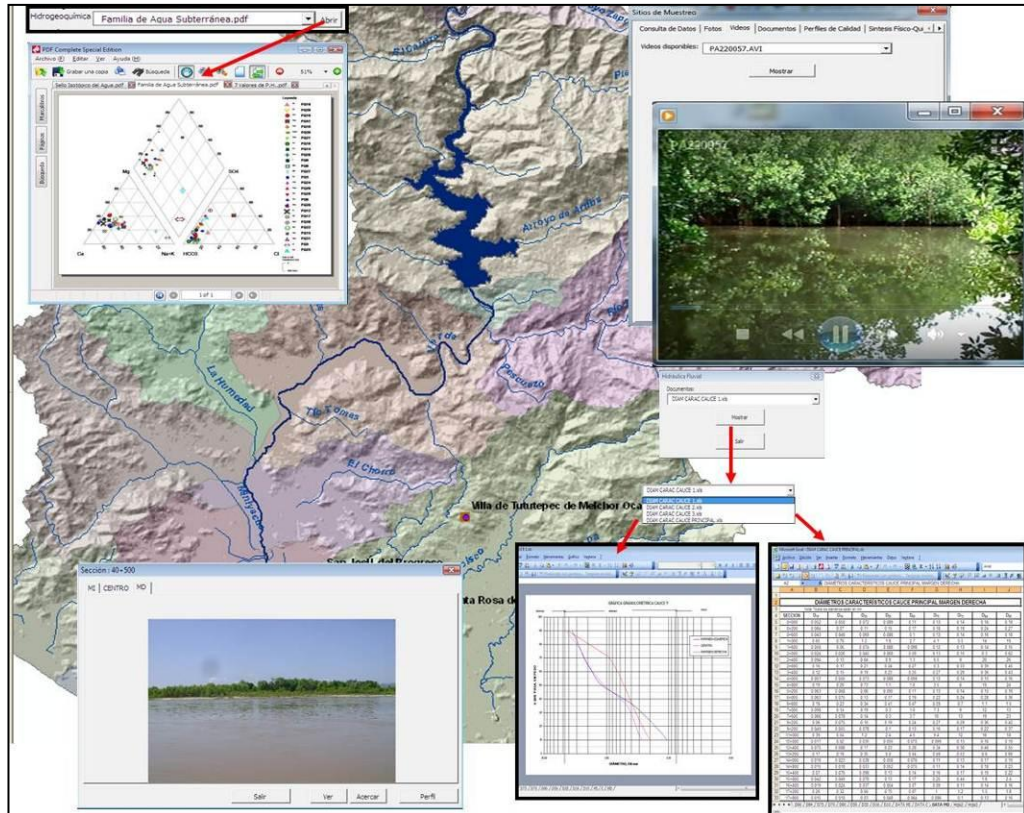
La información documental es considerada como cualquier información en formato digital que puede ser: fotografías, videos, planos, mapas, gráficas, estudios, informes, presentaciones, tablas, imágenes de satélite. La consulta de la información asociada es a través del menú desarrollado e integrado a la barra del menú principal de la plataforma ArcGis, en dicho menú se listan los temas con información asociada.



En la siguiente ventana de datos se observa que se tiene información asociada en video (avi), en presentación (PowerPoint), tablas (Excel), fotografía (jpg), datos tomados de la tabla de atributos de las capas geográficas e información clasificada.



**Figura 9.** Ventana de información asociada en diferentes formatos.



**Figura 10.** Despliegue de información asociada en diferentes formatos.

## 4 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La información documental asociada describe los principales factores del medio biofísico: clima, relieve, vegetación y suelo; también la variedad de los diferentes ecosistemas naturales existentes en la cuenca. Describir la riqueza natural y cultural, así como el contexto social-económico, la distribución espacial de hábitat de las poblaciones de flora y fauna, es parte de la caracterización general.

Los temas principales y el nivel de detalle en cada caracterización están en función de los alcances del estudio a desarrollar, en éste se obtuvo la siguiente caracterización: geomorfológica de la cuenca del Río Verde y del Sistema Ambiental Regional, hidrometeorológica, del régimen hidrológico, de sedimentos, edafológica y de productividad del Distrito de Riego 110, y análisis del subsistema abiótico, cualitativa y cuantitativa del régimen hidrológico.

## 5 CONCLUSIONES.

La planificación y programación de actividades encaminadas a una gestión integral de los recursos naturales –caracterización de cuencas hidrográficas- requiere de un conocimiento, actitud y habilidades para tomar decisiones informadas, por lo que el uso de las nuevas

tecnologías para administrar el conocimiento juegan un rol importante como herramientas para adquisición y análisis de grandes volúmenes de información para generar un nuevo conocimiento.

Utilizando las herramientas propias de análisis y desarrollo de los sistemas de información geográfica, es posible crear aplicaciones para el diagnóstico, análisis y solución de problemas de la gestión de los recursos naturales y generar conocimientos para la toma de decisiones.

La implementación del sistema de consulta de información documental responde a una necesidad de contar con herramientas –geográficas- de tecnología de punta, para el acceso, análisis y despliegue de información pertinente y confiable en el mismo ambiente de trabajo.

## REFERENCIAS

- Bosque S.J. 1992. *Sistemas de Información Geográfica*. Rialp, S.A., Madrid, España.
- Moldes J.F. 1995. *Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica*. RA-MA, Madrid, España
- Zeiler M. 1999. *Modeling our World*. Environmental System Research Institute. Redlands, USA.
- MacDonald A. 2001. *Building a Geodatabase*. Environmental System Research Institute. Redlands, USA.
- Subdirección General Técnica. CONAGUA. 2007. *Mapas de Regiones Hidrológicas del País*. México
- Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua. IMTA. 2008. *Estudio hidrológico, hidrogeoquímico, fluvial, hidrodinámica Lagunar-Costera, manejo de cuenca, caudal ecológico, calidad del agua superficial y contaminación difusa, de las Lagunas de Chacahua, del Sistema Ambiental Regional. Paso de la Reina, Oaxaca*. Informe Final. México
- Moreno J.A. 2011. *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Alfaomega Ra-Ma, Madrid, España





# **INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN MUNICIPAL COMO APOYO A LA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA PRESA GUADALUPE, ESTADO DE MÉXICO.**

Elena Carina GUTIÉRREZ DÍAZ

Comisión de Cuenca Presa Guadalupe, A.C., cesped2828@prodigy.net.mx

## **RESUMEN**

Los Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares concebidos en la Ley de Aguas Nacionales (LAN) como instancias de coordinación, concertación y consulta para la gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) en la cuenca hidrológica, enfrenta como uno de sus principales retos el cumplimiento de los programas contenidos en sus Planes de gestión. Basados en estudios técnicos de la cuenca hidrológica y enriquecidos con procesos de planeación participativa que involucran a los usuarios, sectores sociales y gubernamentales asentados en dicha zona, son una guía para el funcionamiento de estos órganos colegiados, permiten medir su eficiencia y al mismo tiempo generar confianza y credibilidad, en razón de su cumplimiento. Sin embargo, transitar de la planeación a la implementación, para evitar que los recursos y tiempo invertido por sus integrantes sea estéril, requiere garantizar la observancia de los acuerdos generados en el pleno de sus asambleas, dado que la participación y compromiso de sus integrantes se basa en la buena fe y voluntad política, pues no existe obligatoriedad o sanción en caso de incumplimiento. Este trabajo describe las acciones realizadas y resultados obtenidos en la primera etapa de implementación del acuerdo generado en la 9ª. Asamblea de la Comisión de Cuenca Presa Guadalupe (CCPG), en noviembre de 2008, consistente en la incorporación de los municipios que conforman esta cuenca en el Programa Federal y Estatal de Auditoría Ambiental Cuenca Limpia en el rubro de agua.

Palabras clave: Comisiones de cuenca, Presa Guadalupe, planeación, gestión del recurso hídrico

## **1 INTRODUCCIÓN**

La implementación en México de la gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) en el ámbito de la cuenca hidrológica y a través de la instalación de Comisiones de Cuenca y sus órganos auxiliares integrados con la participación gubernamental de los tres órdenes de gobierno y la representación social, forma parte de la apertura política y económica iniciada a principios de los años 90. La influencia derivada de la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, los Principios de Dublín y las políticas del Banco Mundial en torno al agua, se plasman en la Ley de Aguas Nacionales (LAN) de 1992 y se ven fortalecidas con las reformas a esta ley en 2004. La Evaluación de desempeño ambiental en México, publicada por la OCDE en 2003 establece entre otros puntos la necesidad de fortalecer y desarrollar aún más un enfoque integrado de cuencas tanto para mejorar la gestión del agua y los recursos forestales como para proporcionar servicios ambientales más eficientes. Al respecto subraya como indispensable el reforzamiento de las políticas de fomento de la participación de todos los sectores interesados en la gestión del agua. El IV Foro Mundial del Agua, celebrado en México en 2006 se abordó el tema del agua como eje central para el crecimiento y desarrollo así como las acciones necesarias para la implementación de la GIRH y manejo de riesgo

(Perovochtchikova, 2010). Como resultado a diciembre de 2009 la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2011), reporta que el país se encuentra cubierto por 26 Consejos de Cuenca muchos de los cuales cuentan con órganos auxiliares, tales como las comisiones y comités de cuenca, comités de aguas subterráneas (COTAS) y comités de playas limpias, los cuales atienden problemáticas muy específicas en zonas geográficas más localizadas, resultados derivados del trabajo de promoción realizado esta dependencia federal. A nivel internacional existen casos exitosos de este modelo pero difieren del modelo mexicano principalmente en cuanto a las facultades que el marco normativo les confiere. En nuestro país los Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares, al ser sólo instancias de gestión, coordinación y consulta y carecer de recursos propios para la realización de obras, deben establecer estrategias que les permitan consensuar acciones, obras y presupuestos en torno a un recurso que por su importancia para los diferentes sectores asentados en la cuenca hidrológica siempre será objeto de conflicto. Si bien los Planes de gestión de la cuenca, elaborados con la participación gubernamental y social, contienen los objetivos, metas, estrategias y proyectos para guiar el funcionamiento de estos órganos colegiados, es necesario considerar que su realización requiere asegurar el compromiso de las instancias gubernamentales que tienen en su ámbito de competencia las facultades y presupuestos para llevarlas a cabo, no como programas aislados sino en el marco del plan de gestión. Por otro lado no menos importante resulta ser el compromiso y participación social. En este documento no se discute la importancia de la GIRH ni de los Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares, por el contrario se considera que su creación está plenamente justificada dada la importancia que tiene un adecuado manejo del recurso hídrico sin embargo consolidar el funcionamiento de los consejos de cuenca y sus órganos auxiliares a través de estrategias que aseguren el cumplimiento de su plan de gestión resulta ser indispensable para no cuestionar su permanencia. En este marco se presenta la estrategia y resultados obtenidos para cumplir el acuerdo generado en la 9ª. Asamblea de la CCPG celebrada en noviembre de 2009 consistente en la incorporación de los cinco municipios, que conforman la cuenca presa Guadalupe y participan en ésta comisión de cuenca, en el Programa Federal y Estatal de Auditoría Ambiental Cuenca Limpia en el rubro agua. La relevancia del cumplimiento de este acuerdo radica en que el motivo de la instalación de la CCPG fue atender el problema de contaminación del sistema hidrológico de la cuenca, el cual propició eventos de muerte masiva de peces en la presa Guadalupe. Por lo tanto dar cumplimiento a las acciones consideradas en el Plan de gestión de la cuenca, encaminadas a resolver dicho problema, justifica no sólo la permanencia de esta comisión sino también contribuye generar confianza, credibilidad y participación de la sociedad en este órgano colegiado. Las acciones y resultados presentados se circunscriben al periodo de 2006 a 2010 durante el cual la autora de este documento se desempeñó como coordinadora y posteriormente Gerente Operativa de la CCPG.

## **2DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA PRESA GUADALUPE**

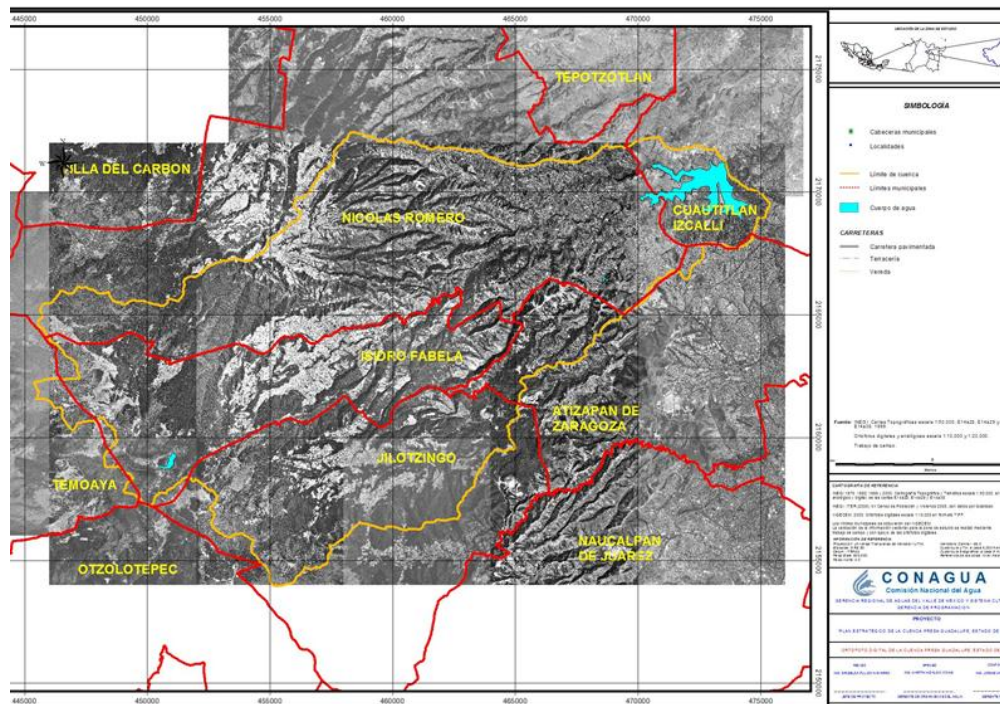
### **2.1 MEDIO FÍSICO**

La cuenca de la presa Guadalupe pertenece a la Región Hidrológica 26 Cuenca Río Pánuco, dentro de ésta a la Cuenca del Valle de México y a la subcuenca del Río Cuautitlán (DESISA, 2007). De acuerdo al Plan Estratégico Hídrico elaborado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en 2006, tiene una extensión de 28, 161 ha y se conforma de siete municipios de los cuales cinco de ellos son los de mayor importancia porque en suma totalizan el 99%, y tres de ellos

(Nicolás Romero, Isidro Fabela y Jilotzingo) comprenden el 88.41% del total de la cuenca, sin embargo, los otros dos municipios, Cuautitlán Izcalli y Atizapán de Zaragoza, son importantes porque se ubica tanto la presa como importantes áreas urbanas (Figura 1). En la Tabla 1 se presenta la distribución de superficie de la cuenca para cada municipio y en la Figura 1 el mapa de límite de cuenca y municipios en ortofoto digital que la integran. Existe un elevado contraste entre el nivel de urbanización de los municipios que se encuentran en parte alta y baja de la cuenca. Mientras que Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli y la parte baja de Nicolás Romero son totalmente urbanos, Isidro Fabela Jilotzingo y la parte alta de Nicolás Romero son rurales, contienen la totalidad del bosque y los manantiales presentes en la cuenca, lo que da lugar a un alto sentido de pertenencia del agua en sus pobladores.

**Tabla 1.** Municipios que integran la Cuenca de la Presa Guadalupe, Estado de México. (IMTA, 2006)

Municipio	Superficie (ha)	%
Nicolás Romero	12,266.36	43.56
Isidro Fabela	6,671.28	23.69
Jilotzingo	5,957.93	21.16
Cuautitlán Izcalli	1,537.83	5.46
Atizapán de Zaragoza	1,463.09	5.20
Temoaya	263.88	0.94
Otzolotepec	0.70	0.00
Total	28,161.07	100.00



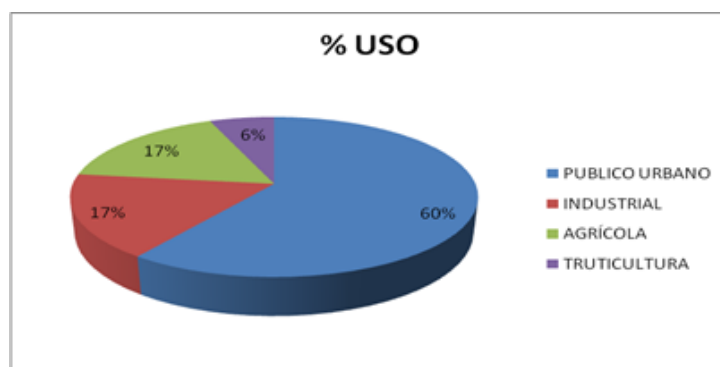
**Figura 1.** Mapa de límite de cuenca y municipios en ortofoto digital que integran la cuenca Presa Guadalupe. (IMTA, 2006).

La cuenca cuenta con cuatro ríos principales: Monte Alto o Chiquito, San Pedro, Xinté y Guadalupe, que fluyen de oeste a este y convergen en la presa Guadalupe, construida en 1936 con fines de riego y control de las avenidas máximas de estas corrientes. En la parte alta de la cuenca, arriba de la cota 2800, se encuentran manantiales que no sólo abastecen de agua potable a la población sino que también sostienen la producción de trucha en la cuenca. Además de la Presa Guadalupe, cuya capacidad de almacenamiento es de 52.211 hm<sup>3</sup>, se encuentran las presas Iturbide (1.5 hm<sup>3</sup>) en Isidro Fabela, la Colmena (0.026 hm<sup>3</sup>) en Atizapán de Zaragoza y, la recién inaugurada en el año 2011, Capoxi Miguel Hidalgo (0.19 hm<sup>3</sup>) en Jilotzingo. El total de la cuenca se encuentra dentro del acuífero Cuautitlán-Pachuca y constituye su sitio principal de recarga de acuerdo a los coeficientes de infiltración reportados por Galindo et al (2010), característica relacionada con los usos de suelo determinados en la cuenca (IMTA, 2006) y que se muestran en la Tabla 2. A pesar de que el mayor porcentaje del suelo en la cuenca consiste en bosque de oyamel, pino y encino, este se encuentra fuertemente presionado por el crecimiento acelerado de la zona urbana y la actividad agropecuaria.

**Tabla 2.** Usos de suelo en la cuenca presa Guadalupe. ( IMTA, 2006)

Uso	Superficie (Ha)	%
Área urbana	3,604.46	12.8
Agrícola	3,628.10	12.88
Forestal	16,208.56	57.56
Área erosionada	878.60	3.12
Pastizal	1,454.12	5.16
Sin cultivar	1,936.21	6.88
Praderas	90.32	0.32
Cuerpo de agua	360.70	1.28
Total	28,161.07	100.00

De acuerdo al Programa Hídrico de Gran Visión, el volumen total de agua en la cuenca, 25.63 hm<sup>3</sup>/año se distribuye de la siguiente manera: el principal uso del agua en la cuenca es el público urbano, le sigue el industrial, agropecuario y finalmente el acuícola (Gráfica 1).



**Gráfica 1.** Usos del agua en la Cuenca presa Guadalupe (DESISA, 2008)

Dentro de la cuenca se encuentran 2 áreas naturales protegidas estatales, consistentes en una porción del parque estatal Otomí-Mexica (Gaceta del Gobierno del Estado de México, 1980), ubicado en la parte alta de la cuenca y el Santuario del Agua y Forestal Presa Guadalupe la cual comprende este vaso receptor y su área circundante (Gobierno del Estado de México, 2004)

## 2.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

Durante los años 2004, 2005 y 2006 se registraron en la Presa Guadalupe, eventos de muerte masiva de peces, que motivaron al Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli a celebrar convenios con la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM para evaluar durante los años 2004-2006 las condiciones de calidad del agua del embalse, al tiempo que realizaba a través de la Dirección de Medio Ambiente el Diagnóstico de la Subcuenca Tributaria Afluentes de Guadalupe. Los estudios de la FESI, UNAM concluyeron la existencia de condiciones eutróficas que permitían la existencia de oxígeno (1-2 mg/l) sólo en la capa superficial del embalse a una profundidad máxima de 1m.

En la Tabla 3, se muestran los resultados del Diagnóstico de la Subcuenca Tributaria Afluentes de la Presa de Guadalupe (Gutiérrez y González, 2005), a través de los cuales se determinó que las condiciones de la calidad del agua en el embalse provenían de las descargas residuales sin tratamiento, 14 924 455 m<sup>3</sup> anuales, de la población rural y urbana asentadas en la cuenca, 365 000 habitantes, volumen que correspondía a la cuarta parte de la capacidad de la presa Guadalupe y a las cuales se agregaba el problema generado por los residuos sólidos depositados en las barrancas. Cabe mencionar que la administración del agua en los municipios de Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli y Nicolás Romero se realiza en su mayor parte a través de un organismos públicos descentralizados para el abastecimiento de agua potable, alcantarillado y saneamiento al mismo tiempo que existen en algunas localidades comités de agua que se rigen por sus propias reglas. En el caso de Isidro Fabela y Jilotzingo, sólo existen comités de agua.

A la fecha sólo dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) existen en la cuenca. Una de ellas ubicada en el municipio de Atizapán de Zaragoza, la cual trata las descargas residuales que se incorporan a la presa Guadalupe a través del Arroyo El Muerto (Barranca el Muerto) y que en 2005 (Tabla 3) se calcularon en 463,491.60 m<sup>3</sup>/año, mismas que corresponden al 3.1% del total de las descargas residuales sin tratamiento producidas en la cuenca presa Guadalupe. La segunda planta, construida en 2010 por el Gobierno del Estado de México, trata las descargas residuales solamente de la cabecera del municipio de Isidro Fabela. A pesar de que el Gobierno del Estado de México destinó recursos para la construcción de una PTAR en el municipio de Jilotzingo, en la localidad de San Luis Acayucan y dos en el Nicolás Romero ubicadas en Cahuacán y el Vidrio, no contribuyen al saneamiento del sistema hidrológico de esta zona pues dichas localidades no forman parte de la cuenca.

**Tabla 3.** Población y volumen de aguas residuales sin tratamiento generadas en la Cuenca Presa Guadalupe (Gutiérrez y González, 2005)

Municipio	Superficie que aporta a la Subcuenca	Habitantes en la zona de la Subcuenca	Vol. de descargas residuales M <sup>3</sup> /año	Sitio de descargas residuales hacia la presa	Problemática	Proyección de la población al 2020	Proyección de descargas 2020
Atzapán de Zaragoza	1,143.04	10,852	463,491.60	Barranca el Muerto	Aguas Residuales		
		14,364	524,286.00	Río Xinté	Residuos Sólidos		
<b>Total Municipal</b>		<b>25,216</b>	<b>987,777.60</b>			<b>30,308</b>	<b>1 188,446.7</b>
Cuautilán Izcalli	1,540.45	9,165	401,427.00	Presa Guadalupe	Retiro de residuos sólidos desde la parte noroeste de la presa (1420 M <sup>3</sup> /año)	10,627	465,444.6
Isidro Fabela	7,064.29	8,168	Fosas Sépticas		Deforestación Erosión de suelo	12,232	
Villa Jilotzingo	6,193.47	3,683	N.D		Deforestación Erosión de suelo Disposición de Residuos sólidos	4,749	
Villa Nicolás Romero	12,155.88	139,968	6 130,598.40	Río San Pedro	Aguas Residuales Cambio de Uso de suelo Disposición de Residuos Sólidos		
		74,304	3 254,515.20	Río Chiquito a Río San Ildefonso			
		13,824	605,921.20	San Ildefonso Arroyo Grande a			
		80,928	3 544,646.40	Río Xinté			
<b>Total Municipal</b>		<b>309,024</b>	<b>13 535,251.20</b>			<b>371,815</b>	<b>16 285,496.8</b>
<b>Total en la Subcuenca</b>	<b>28,097 ha.</b>	<b>355,256</b>	<b>14 924,455.80</b>			<b>429,731</b>	<b>17 939,388.1</b>

En la parte baja de la cuenca en el Ejido de Tepojaco, municipio de Cuautilán Izcalli, actualmente con recursos del Fondo Metropolitano está en construcción una PTAR proyectada para tratar 750 lps. Las aguas residuales producidas en la cuenca serán conducidas por dos colectores marginales. Uno de ellos en la parte norte de la presa que requiere rehabilitación y otro en la parte sur que cuya construcción se encuentra inconclusa.

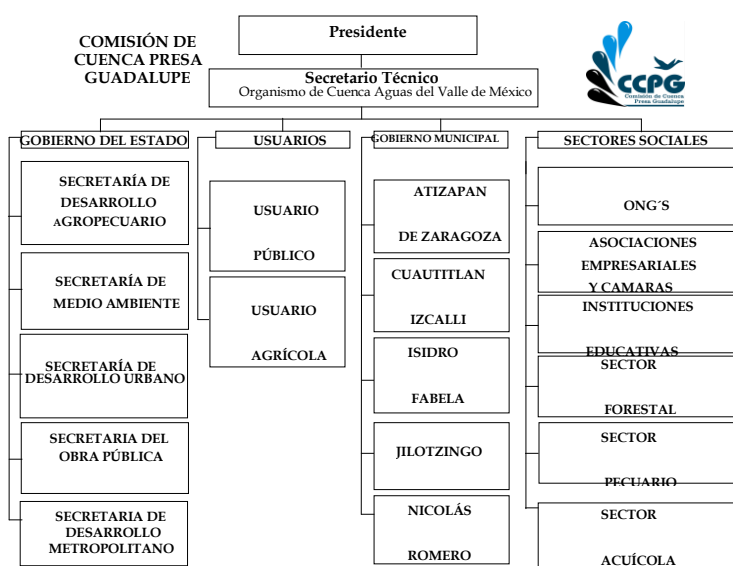
### 3 COMISIÓN DE CUENCA PRESA GUADALUPE

#### 3.1 ESTRUCTURA

Durante el periodo de mayo a diciembre de 2005, la Dirección de Medio Ambiente de Cuautilán Izcalli difundió los resultados del Diagnóstico de la Subcuenca Tributaria Afluentes de la Presa Guadalupe así como los estudios de calidad del agua realizados por la FESI UNAM, en los municipios que integran la cuenca con objeto de promover la participación de representantes gubernamentales, usuarios del agua y sociedad organizada, en la atención del problema de contaminación del agua. Como resultado, el 11 de enero de 2006 y en el marco de la LAN se instaló la Comisión de Cuenca Presa Guadalupe (CCPG), de acuerdo al organigrama presentado en la Figura 2.

A finales del año de 2009 y hasta la fecha, la CCPG ha recibido recursos federales y para apoyar su funcionamiento a través de la creación de su Gerencia Operativa. A siete años de su instalación cuenta con 12 asambleas celebradas, 10 de ellas realizadas de 2006 a 2009, periodo que se distinguió entre otros resultados por activas reuniones de los Grupos Especializados de Trabajo en

Agua, Residuos Sólidos, Educación Ambiental, conformados por representantes gubernamentales de los 3 órdenes de gobierno y así como profesionales y especialistas de instituciones académicas y del sector privado de la cuenca. En este periodo sin contar con una gerencia operativa las actividades eran coordinadas por la autora de este documento con el apoyo del Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli. En esta activa fase de la CCPG, se tuvieron como resultado entre otros puntos la elaboración del Plan Estratégico Hídrico, el Programa Hídrico de Gran Visión, sus Reglas de Operación y Funcionamiento así como acciones coordinadas en materia de educación ambiental, rehabilitación de la obra de toma del colector marginal norte de la presa Guadalupe, atención de plagas forestales en la parte alta de la cuenca, creación y coordinación del Grupo Especializado de Acuicultura en Consejo de Cuenca del Valle de México y la incorporación de los municipios que conforman la cuenca en el Programa Federal y Estatal de Auditoría ambiental Cuenca Limpia en el rubro de agua.



**Figura 2.** Organigrama de la Comisión de Cuenca Presa Guadalupe.  
Fuente: (DESISA, 2008)

### 3.2 PLAN DE GESTIÓN DE LA CCPG

El plan de gestión de la CCPG, tiene como antecedente el Diagnóstico de la Subcuenca Tributaria Afluentes de la Presa Guadalupe (Gutiérrez y González, Op. cit) y el Plan estratégico de la cuenca presa Guadalupe, Estado de México (IMTA, Op. cit). Este último documento además de identifica las causas principales de la degradación de la cuenca, determina las acciones y obras necesarias para coadyuvar al desarrollo sustentable del recurso hídrico y sus recursos asociados así como la infraestructura necesaria para ello. Su elaboración consideró los resultados derivados de la primera etapa de un taller de planeación de proyectos orientada a objetivos, realizado en octubre de 2006, en el cual participaron los integrantes de la CCPG identificando desde su perspectiva el conjunto de problemas y la jerarquía de su importancia.

El Plan de gestión de la CCPG, denominado Programa Hídrico de Gran Visión, define como objetivo central el análisis de la problemática, la identificación y elaboración del plan de acciones por competencias bajo un esquema de coordinación, para la recuperación y conservación de la cuenca Presa Guadalupe. Plantea siete objetivos específicos:

1. Promover el saneamiento de la cuenca
2. Alcanzar el aprovechamiento sustentable del agua
3. Realizar un adecuado manejo de los recursos naturales
4. Impulsar el desarrollo en zonas rurales
5. Promover la participación ciudadana
6. Realizar una coordinación gubernamental, institucional y financiera
7. Asegurar la observancia del marco jurídico

Derivados de estos objetivos se definieron 77 acciones estratégicas cuya planeación y programación considera un horizonte al año 2030 (DESISA, 2008). La implementación de tales acciones a partir de la coordinación de las facultades y competencias de los representantes gubernamentales así como de la participación de los usuarios y sociedad organizada constituyen el tema central en las asambleas de la CCPG. En este marco y en relación al objetivo específico de saneamiento, se acordó en el año 2008 durante la 9ª. Asamblea de la CCPG, la incorporación de los municipios que integran esta cuenca al Programa Federal y Estatal de Auditoría Ambiental Cuenca Limpia en el rubro de agua así como destinar recursos propios de la CCPG, recibidos del Gobierno Federal y Estatal, para apoyar a los municipios en la elaboración de sus respectivos planes de acción que considera este programa en sus primeras etapas.

### **3.3 PROGRAMA NACIONAL DE AUDITORÍA AMBIENTAL (PNAA)**

Es un programa creado en 1992 bajo iniciativa de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), conocido como Industria Limpia, por haber sido enfocado a la industria de mayor riesgo en el país. Posteriormente se extendió a la mediana y pequeña industria así como a los sectores de comercio, servicios, instalaciones turísticas y municipios. Consiste en auditorías ambientales, de incorporación voluntaria, para conocer el estado que guardan dichos sectores respecto a los daños o afectaciones que puedan ocasionar al ambiente, a fin de identificar áreas de oportunidad y acciones correctivas que le permitan el cumplimiento de la legislación y la implementación de buenas prácticas ambientales. En su versión de Cuenca Limpia, el PNNA considera la certificación de todas las actividades que impacten la calidad del agua a lo largo de una cuenca hidrológica derivadas de los municipios, empresas, comercios y servicios. Dentro de los procesos municipales que se auditan con el objeto de obtener el certificado de calidad ambiental municipal se encuentra el Manejo Integral del Agua. La Procuraduría de Protección al Ambiente en el Estado de México (PROPAEM), cuenta con un programa similar.

Las etapas del programa en ambos casos consisten en:

1. Planeación. Etapa en la cual el municipio contrata a la Unidad de Verificación acreditada y aprobada, quién elabora el plan de auditoría que se presenta ante la PROFEPA y PROPAEM.



2. Diagnóstico. En el cual se realizan los trabajos de campo que dan lugar al plan de acción elaborado por la Unidad de Verificación en conjunto con el municipio y que será presentado a la autoridad ambiental.
3. Ejecución del plan de acción. A partir de un convenio de concertación del plan de acción, seguimiento y conclusión que culmina con la certificación del municipio.

### **3.3 PLAN MUNICIPAL DE DESARROLLO. INSTRUMENTO DE PLANEACIÓN MUNICIPAL**

De acuerdo a la Ley de Planeación del Estado de México, el Plan Municipal de Desarrollo, es el principal instrumento de planeación de la administración municipal, en el que previo diagnóstico de las condiciones actuales del municipio así como de las variables que pudieran influir en su proceso evolutivo establece objetivos y prioridades coherentes con el desarrollo económico y social del municipio. En este documento, que considera la participación de los diferentes sectores sociales, se fijan las metas, estrategias, plazos de ejecución así como las responsabilidades y bases de ejecución de los programas contenidos en él. En la programación se establecen los sistemas operativos, de fiscalización, control y evaluación a fin de que la asignación de los recursos sea congruente con la política global del desarrollo municipal.

## **4 PROBLEMÁTICA**

Dada la importancia que tienen las acciones encaminadas al saneamiento del agua en la cuenca, el reto para la CCPG, consistió en lograr que los presidentes municipales de las administraciones entrantes 2009-2012, ratificaran el compromiso que sus antecesores manifestaron meses antes de concluir sus respectivos periodos en cuanto a la incorporación de sus municipios a los Programas Federal y Estatal de Cuenca Limpia en el rubro de agua, debido que las administraciones municipales no pueden comprometer acuerdos más allá del tiempo que dura su periodo.

Por otro lado había que considerar que la elaboración del plan de acción, requería no sólo los recursos que serían aportados por la CCPG, sino que era necesario contar con información relacionada con la administración del agua en los municipios y a cual sólo podía ser proporcionada por los organismos operadores y los comités de agua que administran el agua en la cuenca, en cualquiera de los casos ya sea por los rezagos históricos en el saneamiento y deficiencia en el suministro de agua potable o por considerarla de su propiedad, no sería fácil obtener la información necesaria. Finalmente también debía contemplarse la necesidad de prever la asignación de recursos municipales para las acciones y obras que derivaran del plan de acción. Estas consideraciones determinaron la estrategia que se muestra en la siguiente sección.

## **5 MÉTODO**

Para coordinar el cumplimiento del acuerdo generado en la 9ª. Asamblea de la CCPG, relativo a la incorporación de los municipios que integran la cuenca al Programa Federal y Estatal de Auditoría Ambiental Cuenca Limpia en el rubro de agua, se realizó desde la Gerencia Operativa:

1. Revisión de las etapas y puntos que conforman el Programa de Auditoría Ambiental Federal y Estatal Cuenca Limpia en el rubro de agua y los planes de acción correspondientes, con asesoría de la PROFEPA y PROPAEM y la participación del Grupo Especializado del Agua de la CCPG constituido por representantes de los áreas de agua de los municipios.
2. Consenso de la PROFEPA y la PROPAEM respecto de los puntos a considerar en la elaboración del Plan de Acción de cada municipio por parte de la Unidad de Verificación, a fin de que cumplir con la normatividad establecida por ambas dependencias.
3. Invitación de la CCPG a las Unidades Verificadoras con registro tanto de PROFEPA como de PROPAEM a participar con sus propuestas técnicas y económicas para la elaboración del Plan de Acción.
4. Apertura de los sobres con las propuestas técnicas y económicas presentadas por 5 Unidades de Verificación que atendieron la invitación.
5. Análisis de las propuestas técnicas y económicas presentadas por las Unidades de Verificación con la participación de la PROFEPA y la PROPAEM y elaboración de reporte para ser presentado en asamblea de la CCPG.
6. Presentación del análisis de las propuestas en la 10ª. Asamblea de la CCPG, en la cual por votación se eligió a la Unidad Verificadora, dado que los recursos para la elaboración de los planes de acción serían proporcionados por la CCPG.
7. Presentación de los objetivos de la CCPG, del Programa Hídrico de Gran Visión y el acuerdo generado de incorporación al Programa de Auditoría Ambiental Federal y Estatal Cuenca Limpia en el rubro de agua, en reuniones sostenidas entre el Presidente y la Gerente Operativa con los presidentes municipales de la administración 2009-2012.
8. Reuniones de trabajo entre la Gerente Operativa y los integrantes de los cabildos, Directores de Medio Ambiente y de los Organismos Operadores del agua en el caso de Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli y Nicolás Romero, y con comités de agua en los municipios de Isidro Fabela y Jilotzingo para presentar la información proporcionada a los presidentes municipales. Lo anterior con objeto de contar con su colaboración para autorizar por cabildo la incorporación de los municipios al Programa Auditoría Ambiental Federal y Estatal Cuenca Limpia en el rubro de agua y con ello asegurar la aprobación también por cabildo del presupuesto municipal necesario para realizar las acciones y obras que deriven del plan de acción. En el caso de los directores de área el objetivo fue obtener su colaboración para recabar la información necesaria para la elaboración del plan de acción. En ambos casos se fijó la meta de que éste programa formara parte del Plan Municipal de Desarrollo.

## **6 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Atizapán de Zaragoza, mediante la Décimo Tercera Sesión Ordinaria de Cabildo celebrada el 11 de diciembre de 2009 autorizó la participación de este municipio en la Comisión de Cuenca Presa Guadalupe a través de su Presidente Municipal, nombrando al mismo tiempo al titular de la

Dirección de Servicios Públicos como su representante suplente. Autorizó también en esta sesión la incorporación del municipio al Programa de Cuenca Limpia.

El nueve de septiembre de 2009 durante la Cuarta Sesión Ordinaria de Cabildo verificada el nueve de septiembre de 2009, el Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, con motivo del oficio CCPG.G.O.1.33/2009 de la Gerente Operativo de la CCPG, se somete a consideración la votación para ratificar la participación de este municipio en la CCPG, designar al Director General del Organismo Público Descentralizado para la Prestación de Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, OPERAGUA, e incorporar al municipio en el Programa de Cuenca Limpia, aprobándose por unanimidad los tres puntos.

Los presidentes municipales de Isidro Fabela, Jilotzingo y Nicolás Romero manifestaron por escrito a la CCPG, participar en este órgano colegiado, sin embargo no existe antecedente de aprobación de sus respectivos cabildos.

Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli y Nicolás Romero incorporaron en sus Planes Municipales de Desarrollo 2009-2012, la participación municipal en el CCPG así como el Programa de Cuenca Limpia. Isidro Fabela y Jilotzingo, no hacen mención alguna al respecto.

El nivel de compromiso de los municipios de la cuenca con la CCPG y el Programa de Cuenca limpia estuvo en estrecha concordancia con el respaldo proporcionado por los cabildos y los Directores de los Organismos Operadores de Agua así como de las áreas de Medio Ambiente para incluir estas acciones como programas en sus respectivos Planes de Desarrollo Municipal, situación que se reflejó en el avance que tuvo la recopilación de entrega de información para la elaboración de los planes de acción y en cuyo proceso sólo avanzaron Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli y Nicolás Romero.

En el caso de Isidro Fabela y Jilotzingo, se logró establecer comunicación con los comités de agua para iniciar la sensibilización con respecto a los objetivos de la CCPG, pues existe en ellos un elevado sentido de pertenencia del agua “que producen en la parte alta de cuenca”, como citan textualmente y los hace ver con recelo cualquier intervención en el histórico manejo que realizan de este recurso.

## **7 CONCLUSIONES**

Existe una gran expectativa de resultados inmediatos y visibles para la sociedad, en torno a los Consejos y Comisiones de Cuenca principalmente cuando nacen a partir de eventos que reflejan de forma inequívoca el deterioro ambiental, como la muerte masiva de peces que se refiere en este documento. De ahí que las primeras acciones tales como la instalación de estos órganos colegiados así como los procesos de planeación, que culminan con un plan de gestión, siempre cuentan con una amplia participación y son los resultados más evidentes en un principio. Sin embargo desarrollar la cartera de proyectos representa un gran reto de concertación y coordinación, pues implica no solo coincidir en la definición de las obras necesarias y su orden de prioridad sino también en la asignación de los recursos por parte de las dependencias gubernamentales para llevarlas a cabo, condición que requiere sean consideradas en sus respectivos programas. Siendo la planeación, coordinación y concertación las únicas facultades de los Consejos y Comisiones de cuenca, es necesario establecer estrategias que coadyuven al consenso y compromiso para el cumplimiento de

los acuerdos generados en sus asambleas, a fin de que no se cuestione la permanencia de estos órganos colegiados por falta de eficiencia.

En este marco los resultados presentados en este trabajo permiten considerar como una alternativa viable apoyarse en el Plan de Desarrollo Municipal para incorporar en él los proyectos de competencia municipal considerados en el Plan de Gestión de la cuenca por ser, en primera instancia, un documento de planeación municipal que por ley debe elaborar la administración municipal en turno para desarrollar sus programas y asignarles presupuesto. En segundo lugar, contiene un sistema de seguimiento y evaluación a través de formatos mensuales, trimestrales y semestrales que independientemente de que son útiles para la administración municipal facilitan la tarea de seguimiento que tienen que realizar los Consejos y sus órganos colegiados, para asegurar el cumplimiento de los proyectos contenidos en el Plan de Gestión. Es importante señalar que en este proceso se tiene que trabajar tanto en establecer una comunicación estrecha con el Presidente Municipal, quién al apropiarse del proyecto se convierte en su principal facilitador, como con el cabildo por ser la instancia que no sólo respaldará al Presidente Municipal como representante del Ayuntamiento en el órgano colegiado sino también por ser el que aprueba el presupuesto anual municipal. La relación con las áreas encargadas de la administración del agua y de medio ambiente, permite no sólo contar con la información necesaria para establecer diagnósticos sino también para enriquecer la planeación y realización de los programas, contenidos en el Plan de gestión de la cuenca, con el enfoque real de las condiciones que prevalecen en el municipio ya sean de índole económica o social. Es recomendable reproducir esta estrategia en los ámbitos estatales y federales dado que la cartera de proyectos de los planes de gestión involucra competencias y recursos de éstos órdenes de gobierno.

Por otro lado no debe soslayarse que las comunidades rurales generalmente ubicadas en las partes altas de la cuenca, en la zona de bosque y manantiales, ven con recelo y desconfianza la intervención de estos órganos colegiados en la tradicional administración que han venido realizando del agua, dado el sentido de pertenencia fuertemente arraigado en sus pobladores. De ahí que cuando sólo existen comités de agua en un municipio, como es el caso de Isidro Fabela y Jilotzingo, la administración municipal no puede comprometer acciones en este rubro, pues aun cuando los asuntos relacionados con este recurso estén a cargo generalmente de un regidor, son los comités quienes tienen el control total del manejo del agua.

Finalmente es recomendable establecer en las Comisiones de cuenca y sus órganos auxiliares un enfoque incluyente y transparente en el diseño, desarrollo y seguimiento de los proyectos contenidos en los planes de gestión así como de los acuerdos generados en sus asambleas, lo cual sin duda promoverá la confianza y colaboración de todos los sectores involucrados en la gestión integral del recurso hídrico en la cuenca.

## REFERENCIAS

- Comisión Nacional del Agua. 2011. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2011. CONAGUA, SEMARNAT. México.97-98 pp.
- Comisión Nacional del Agua (2004). *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. CONAGUA. México. 183 P.
- Desarrollo y Sistemas, S.A. 2008. *Programa Hídrico de Gran Visión de la Comisión de Cuenca Presa Guadalupe*. México. CONAGUA. México.

- Galindo, E. et al. 2010. Balance hídrico y afectaciones a la recarga para el año 2012 en el acuífero Cuautitlán Pachuca, GeoFocus (Informes y comentarios). Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. No. 10, 65 -90 pp. ISSN: 1578-5157. [http://geofocus.rediris.es/2010/Informe5\\_2010.pdf](http://geofocus.rediris.es/2010/Informe5_2010.pdf) (Consultado 01 abril 2013).
- Gutiérrez, D.E y González M. T. 2005. *Diagnóstico de la Subcuenca Tributaria Afluentes de la Presa Guadalupe*. Memoria Técnica. H. Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli. México.
- Gobierno del Estado de México. 2004. *Declaratoria del Ejecutivo del Estado de México por la que se establece la declaratoria de Área Natural Protegida con la categoría de Parque Estatal Santuario del Agua y Forestal Presa Guadalupe ubicada en los municipios de Cuautitlán Izcalli y Nicolás Romero Estado de México*. Gaceta de Gobierno. Número 74. Tomo CLXXVIII. México. 14-20 pp.
- Plan de Desarrollo Municipal de Atizapán de Zaragoza 2009-2012. [www.atizapan.gob.mx/...municipales/...desarrollo\\_municipal/PDM%20A](http://www.atizapan.gob.mx/...municipales/...desarrollo_municipal/PDM%20A) (Consultado 15 junio 2010).
- Plan de Desarrollo Municipal de Cuautitlán Izcalli 2009-2012. [www.cuautitlanizcalli.gob.mx/transparencia\\_izcalli/GACETA\\_PLAN\\_DE\\_DESARROLLO\\_3pdf](http://www.cuautitlanizcalli.gob.mx/transparencia_izcalli/GACETA_PLAN_DE_DESARROLLO_3pdf). (consultado 15 junio 2010).
- Plan de Desarrollo Municipal de Isidro 2009-2012. [www.isidrofabela.gob.mx/.../plan\\_desarrollo\\_municipal.pdf](http://www.isidrofabela.gob.mx/.../plan_desarrollo_municipal.pdf) (Consultado 15 junio 2010)
- Plan Desarrollo Municipal de Jilotzingo. 2009-2012. Consulta en el ayuntamiento 23 junio 2010
- Plan Desarrollo Municipal de Nicolás Romero. 2009-2012. [www.nicolasromero.gob.mx/images/Transparencia/art1fracción\\_1/PLAN\\_DE\\_DESARROLLO\\_MUNICIPAL\\_DE\\_NICOLAS\\_ROMERO\\_\(PDMU9-12\)pdf](http://www.nicolasromero.gob.mx/images/Transparencia/art1fracción_1/PLAN_DE_DESARROLLO_MUNICIPAL_DE_NICOLAS_ROMERO_(PDMU9-12)pdf). (Consultado 15 julio 2010)
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.2006. *Plan Estratégico Hídrico de la Cuenca Presa Guadalupe*. CONAGUA. México.
- Perovochtchikova, M. 2010. Nueva cultura del agua en México: avances, limitaciones y retos. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. Número 6 (2): 77-92 pp.



# APLICACIÓN METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR LAS MICROCUENCAS DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES

<sup>a</sup>Jorge Alfonso MARTÍNEZ DE ANDA; <sup>b</sup>Daniel Eugenio CHAPA BEZANILLA  
<sup>c</sup>Joaquín SOSA RAMÍREZ; <sup>d</sup>Vicente DÍAZ NÚÑEZ

<sup>a,b,d</sup> Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes.

[jorge.martinez@aguascalientes.gob.mx](mailto:jorge.martinez@aguascalientes.gob.mx); [daniel.chapa@aguascalientes.gob.mx](mailto:daniel.chapa@aguascalientes.gob.mx);  
[vicente.diaz@aguascalientes.gob.mx](mailto:vicente.diaz@aguascalientes.gob.mx); <sup>c</sup> Centro de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma de Aguascalientes. [jsosar@correo.uaa.mx](mailto:jsosar@correo.uaa.mx)

## RESUMEN

La gestión del territorio requiere de modelos de zonificación adecuados para realizar acciones que permitan ordenar las actividades humanas con el mínimo deterioro de los recursos naturales a escalas nacional, regional y local. Esta regionalización puede obedecer a distintos enfoques derivados de agrupar condiciones homogéneas en cuanto a tipos de clima, geología, litología, edafología, geomorfología, hidrología, y patrones recurrentes de vegetación al interior de unidades de terreno con grado de homogeneidad variable.

Uno de los criterios de zonificación del paisaje es la delimitación de cuencas hidrográficas de manera jerárquica, cuyo tamaño está en función de la escala a que se consideren. De ahí derivan distintos niveles de agregación como regiones hidrológicas, cuencas, subcuencas y microcuencas. Su importancia radica en que en su interior ocurren fenómenos físicos, biológicos y sociales que guardan una estrecha relación con la disponibilidad y economía del agua.

En México se han hecho esfuerzos para generar un mapa nacional de cuencas. El último fue realizado por INEGI-INE-CONAGUA (2007). El Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) produjo en 2004 una cobertura de microcuencas para el País, que fue utilizada para apoyar el proyecto de Gestión Integral de Cuencas Hídricas. La Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes, decidió crear una nueva cobertura estatal de microcuencas, tomando como base las subcuencas definidas por el INEGI en su versión de la Red Hidrográfica edición 2 escala 1:50,000, fuesen útiles para diferentes proyectos estratégicos como el Ordenamiento Ecológico Estatal y la Restauración de la Cuenca del Río San Pedro.

Como resultado se identificaron 32 microcuencas, en 5 subcuencas que incluyen al territorio estatal utilizando el método de clasificación y codificación de cuencas hidrográficas, propuesto por Otto Pfafstetter en 1989, que ha sido aplicado en países latinoamericanos como Brasil, Perú y Guatemala. Se presentan los detalles de la aplicación de éste método, sus resultados y las ventajas de su uso para la generación de mapas hidrológicos a escalas grandes, que sirvan como base para la toma de decisiones enfocadas al uso sustentable del territorio y el manejo de ecosistemas, y como referencia para su delimitación en otros Estados de la República.

**Palabras clave:** Microcuencas, Sistemas de Información, Red hidrográfica, Zonificación, Intercuencas, Pfafstetter.

## 1 INTRODUCCIÓN

Un problema fundamental del desarrollo sustentable en los ámbitos regional y local, es la dificultad que representa hacer compatible el desarrollo económico estatal o municipal con el aprovechamiento durable y la conservación de sus ecosistemas y recursos naturales. Este problema radica, entre otras cosas, en la manera en que históricamente fue delimitado el territorio durante el proceso de conformación de México como nación, cuando las unidades administrativas de municipio y estado, fueron creadas según razones comerciales, religiosas, culturales, políticas o económicas (Hoffman y Salmerón, 1997), pero nunca ecológicas.

La actual distribución territorial de los estados y municipios del país no se ajusta con la ocupación de los ecosistemas de México. Muchos de los estados y municipios comparten recursos naturales (especialmente el agua) y los aprovechan de manera diferenciada, con intensidad variable, sin considerar los aspectos funcionales de los ecosistemas.

Este desconocimiento es una de las principales causas de los desequilibrios que actualmente enfrentan los procesos económicos rurales y urbanos del país. Por esto, se ha planteado que el manejo integrado de las cuencas hidrográficas es una manera de abordar estos conflictos, básicamente porque las cuencas se consideran como una unidad funcional (Sarukhán y Maass, 1990).

En la búsqueda de instrumentos de gestión que posibiliten la transversalidad de políticas sectoriales, diversos países han encontrado en el manejo integral de cuencas un instrumento de planeación y de gestión adecuado. El manejo integral de cuencas no sólo permite la gestión equilibrada de los recursos naturales, sino también la integración de los actores involucrados en una sola problemática en lugar de atender varios problemas sectoriales dispersos. La elaboración de un enfoque integrado que supere la fragmentada visión sectorial es determinante para la optimización del recurso hídrico.

En el caso de Aguascalientes (Figura 1), los diferentes instrumentos que involucran la descripción y el diagnóstico de las condiciones del medio físico natural y del ámbito social y económico como pueden ser los programas de ordenamiento del territorio, estudios regionales forestales, planes de manejo de áreas naturales protegidas, entre otros, se basan principalmente en procesos de zonificación del terreno derivados del análisis de las condiciones fisiográficas, edafológicas, geomorfológicas o hidrográficas que implican el manejo de mapas en plataformas especializadas de sistemas de información geográfica.

De conformidad con lo anterior, se ha considerado que un enfoque válido es el uso de unidades de terreno jerárquicas constituidas por cuencas, subcuencas y microcuencas, como criterio de homogeneidad para realizar estudios integrados de las condiciones, a diferentes escalas, de las entidades administrativas que conforman la división política de México.

Sin embargo, se observó que las microcuencas disponibles en formato digital para el Estado de Aguascalientes, no fueron delimitadas tomando en consideración criterios de homogeneidad en cuanto a complejidad del drenaje, posición de los parteaguas, diseño de las bases de datos, topología, integridad de los atributos y algunos otros factores, por lo que no fueron elegibles para



ser tomadas como base en los procesos de regionalización del paisaje que suponen los trabajos de ordenamiento territorial a niveles estatal y municipal. Por estas razones fue necesario buscar y establecer un esquema formal para la definición y organización de las microcuencas del estado, para asegurar que brinden la máxima utilidad a los usuarios de este tipo de información.

En el presente trabajo se consideró que es mucho más sencillo crear las microcuencas a partir del esquema hidrográfico desarrollado por el INEGI, con ayuda de las curvas de nivel del Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta Topográfica a escala 1:50,000, y de la Red Hidrográfica edición 2 escala 1:50,000, que modificar los polígonos ya existentes. Se trazaron los parteaguas directamente en pantalla al interior de cada subcuenca dentro de las cuencas Río Verde Grande y Río Juchipila.



**Figura 1.** Ubicación del Estado de Aguascalientes (en rojo) en el contexto nacional.

De conformidad con lo anterior, se ha estimado que un enfoque válido es el uso de unidades de terreno jerárquicas constituidas por cuencas, subcuencas y microcuencas, como criterio de homogeneidad para realizar estudios integrados de las condiciones, a diferentes escalas, de las entidades administrativas que conforman la división política de México.

## 2 OBJETIVOS

Los objetivos considerados para este trabajo son dos: (1) estructurar la base de datos geográficos de cuencas con distintos niveles de escala, a través del método propuesto por Pfafstetter (1989) y (2) Proponer la cobertura de microcuencas, en formato digital, del estado de Aguascalientes.

### 3 MATERIALES

- a) Curvas de nivel a escala 1:50,000, del conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica del INEGI.
- b) Red Hidrográfica escala 1:50,000 edición 2.0 (Región Hidrológica, Cuenca y Subcuenca) del INEGI.
- c) Mosaico de modelo digital de elevación del INEGI con resolución de 25 m.
- d) Modelos del terreno, Sombreado e hipsográfico, creados a partir del modelo digital de elevación.
- e) Mosaico de Imágenes multiespectrales de satélite SPOT 5 de marzo de 2010, con resolución de 2.5 m, obtenida por la fusión de los productos pancromático y multiespectral.
- f) Software ArcGis 10.0 y computadoras personales.

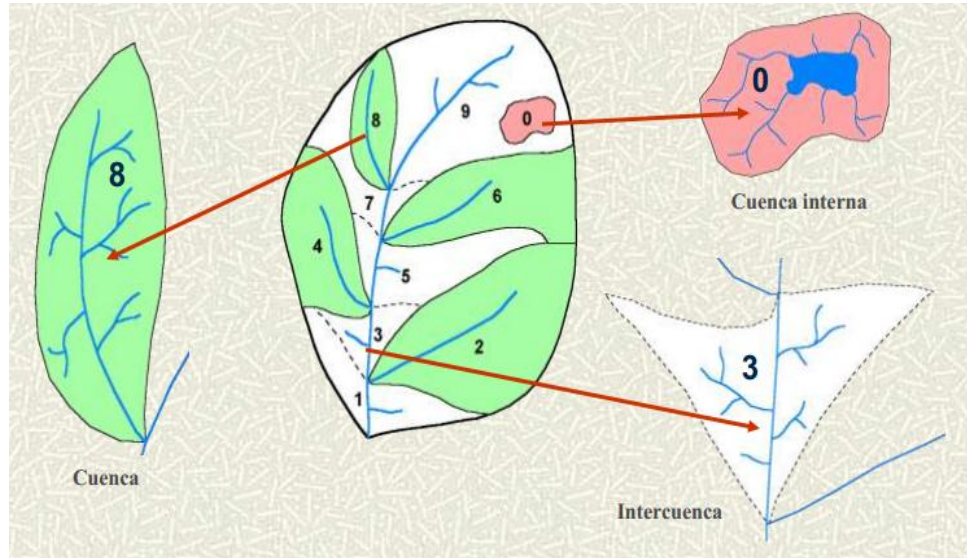
### 4 MÉTODO

Se generó un mosaico con los 14 archivos de modelo digital de elevación que cubren la totalidad del Estado de Aguascalientes. A este mosaico se le aplicaron funciones de corrección para eliminar artefactos que se producen en la unión de algunos de estos archivos. Del archivo resultante se obtuvieron dos productos, consistentes en un mapa hipsográfico en color que muestra la configuración del relieve del terreno y un sombreado del terreno en tonos de gris.

Se realizaron pruebas para generar, de manera automatizada, las microcuencas a partir del modelo digital de elevación, con diferentes algoritmos presentes en ArcGis, ERDAS Imagine e IDRISI Andes. El método semiautomatizado a partir del modelo de elevación en formato raster presentó varios inconvenientes: uno de ellos fue que los límites de las microcuencas o parteaguas, se presentaban de manera escalonada por efecto del paso de formato raster a vectorial. Por esta razón se evaluó la aplicación de un algoritmo de “suavizado” de las líneas, pero resultó en la desviación de la posición de los parteaguas, lo que implicó trabajo de edición de los vectores para restituirlos a su posición correcta.

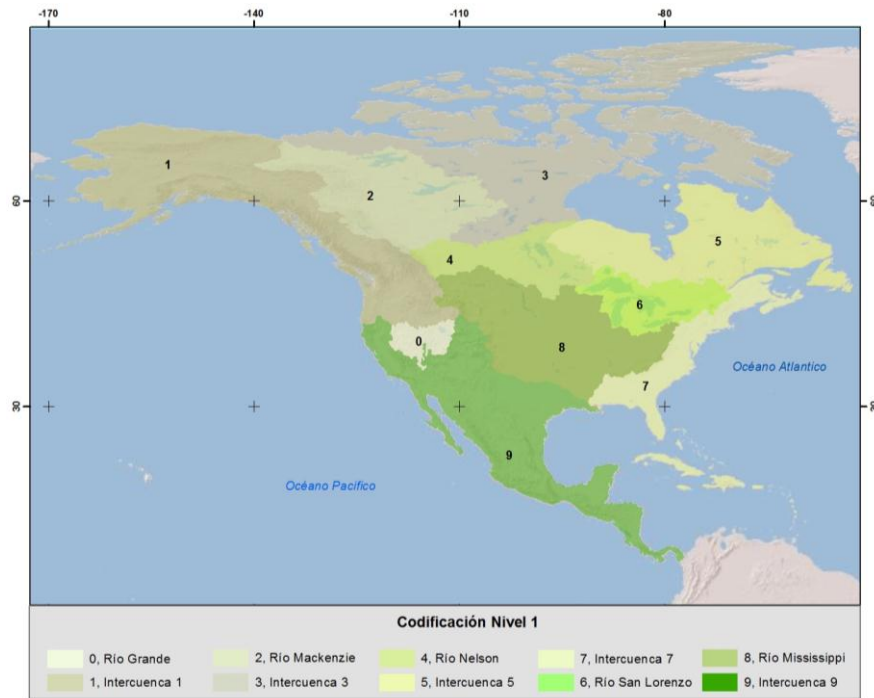
De acuerdo las pruebas realizadas, la dificultad y los sesgos de los métodos evaluados, se decidió utilizar el método manual, tomando como referencia las curvas de nivel y la red hidrográfica escala 1:50,000, con el enfoque estructural desarrollado por Otto Pfafstetter en 1989, el cual fue propuesto para ser adoptado como estándar internacional en 1997 por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), (en Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2009).

El método empleado consistió en dividir las unidades de drenaje en 3 tipos: cuencas, intercuenas y cuencas internas. De acuerdo a Pfafstetter, una cuenca es un área que no recibe drenaje de ninguna otra área, de esta manera una intercuenca es un área que recibe drenaje de otras unidades aguas arriba y una cuenca interna es un área de drenaje que no contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua, tales como un océano o lago (Figura 2).



**Figura 2.** Tipos de unidades de drenaje

Para definir las claves que se deben de asignar a las cuencas, subcuencas y microcuencas, se tomó como referencia la delimitación y codificación propuesta por el Servicio Geológico de los Estados Unidos para Norteamérica, donde México y parte sur de Estados Unidos, ocupan una intercuenca a la que le corresponde el código 9 (Figura 3).



**Figura 3.** Esquema definido por Eros Data Center en 1997.

Asimismo, dentro de la intercuenca 9, se han codificado cuencas e intercuenas para un segundo nivel de subdivisión, tomando como base el esquema del Servicio Geológico de los Estados Unidos (Figura 4), donde se puede observar que la cuenca del Río Lerma Santiago se define por el código 96, 9 para la intercuenca México y 6 para la cuenca Lerma-Santiago. Durante el proceso, se detectó una inconsistencia en la microcuenca Arroyo Piedras Negras (Figura 5, círculo amarillo).

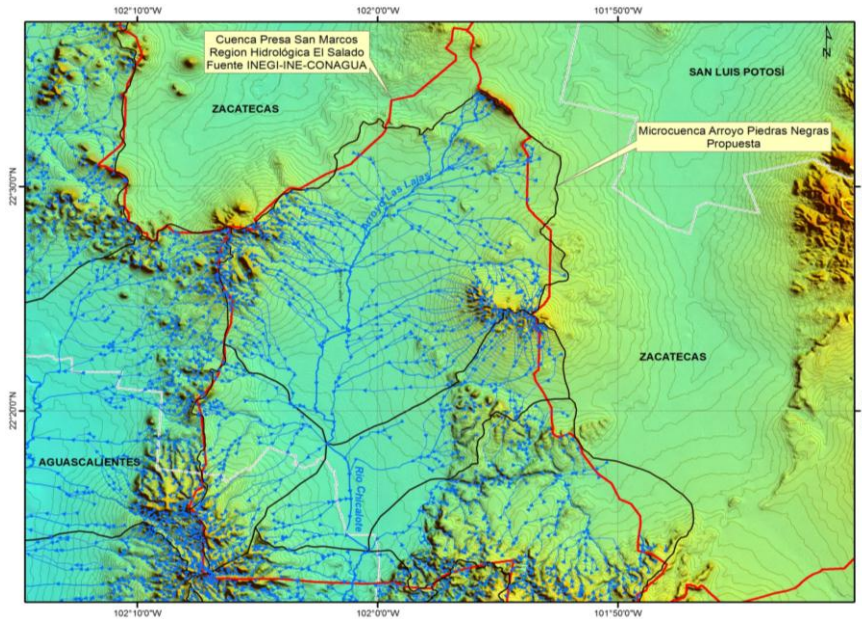


**Figura 4.** Esquema definido por el Servicio Geológico de los Estados Unidos.

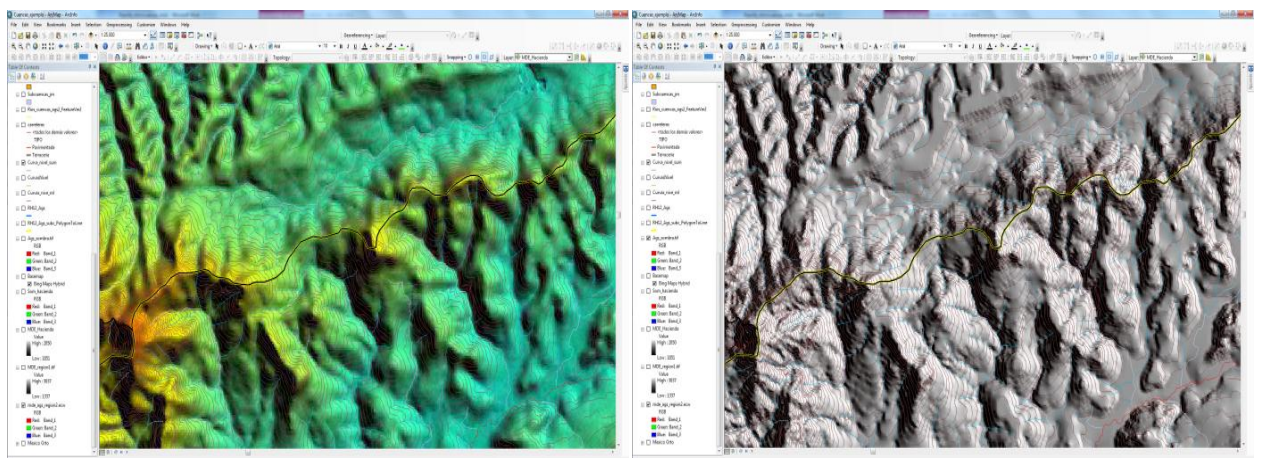


**Figura 5.** Con círculo amarillo se muestra la inconsistencia del Arroyo Piedras Negras, según INEGI-INECONAGUA.

Si se considera la referencia de cuencas del INEGI-INE-CONAGUA, la escorrentía de esta microcuenca drena a la región hidrológica El Salado, correspondiente a la cuenca Presa San Marcos. Se realizó una revisión detallada con el modelo digital de elevación y las curvas de nivel y se determinó que el drenaje fluye hacia la Región hidrológica Lerma-Santiago y cuenca Río Verde Grande (Figura 6), y que el arroyo Las Lajas aporta su caudal al Río Chicalote.



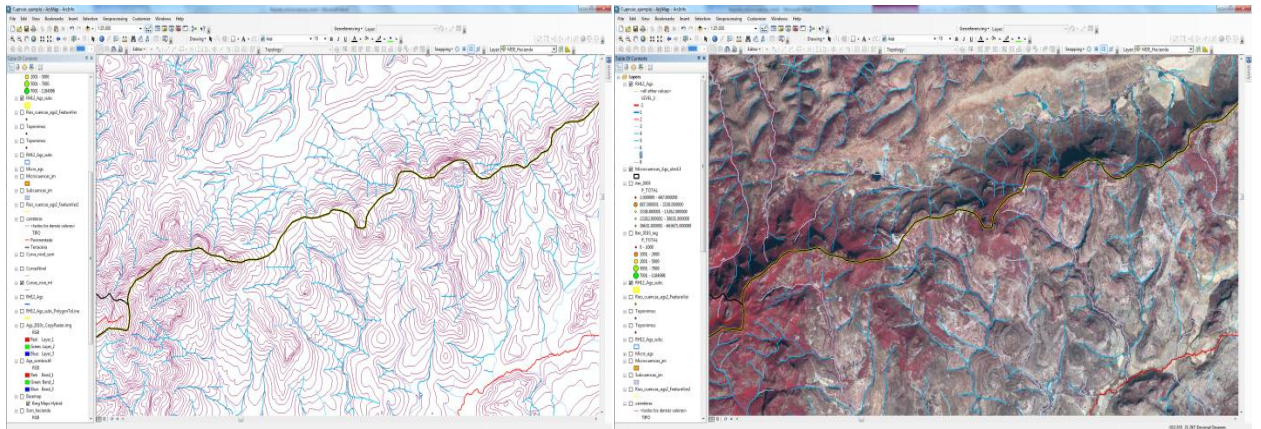
**Figura 6.** Modelo hipsográfico con curvas de nivel (en gris), escurrimientos (en azul), subcuenca de la Presa San Marcos (en rojo) del INEGI-INE-CONAGUA y la propuesta de microcuenca del Arroyo Piedras Negras derivada de este análisis (en negro).



**Figura 7.** Modelo hipsográfico con curvas de nivel (izquierda), y sombreado en grises (derecha) de la Presa San Marcos.

Se tomaron como base los modelos del terreno en hipsográfico a color, el sombreado en grises, la imagen de satélite y la red hidrográfica para cada subcuenca por separado, se trazaron las microcuencas que las

conforman, esto de acuerdo al método de Pfafstetter, en donde cada línea que delimita una microcuenca pasa por los puntos de mayor elevación del relieve y que definen los parte aguas (Figuras 7 y 8).



**Figura 8.** Métodos de visualización de la información de apoyo para la digitalización de las microcuencas e intercuencas.

El orden de trazado de las microcuencas al interior de cada subcuenca, se determinó considerando como primer criterio la longitud de los 3 o 4 principales afluentes al cauce principal, que al mismo tiempo son los que presentan mayores áreas de aportación de escurrimientos.

Estos se establecieron como cuencas y las áreas restantes se asignaron como intercuencas. La codificación de las cuencas (Cuadro 1), se realizó con los dígitos pares 2, 4, 6 y 8, iniciando desde la parte baja de la cuenca hasta la parte alta (Figura 2). Después se procedió a generar y codificar las intercuencas desde la parte baja de la cuenca hasta la parte alta, a estas se le asignaron los dígitos impares 1, 3, 5, 7 y 9.

Con este método, el máximo de unidades hidrográficas que se van a obtener son 9 o 10 si se presentara una cuenca interna.

**Cuadro 1.** Ejemplos de código para niveles hasta el 7.

Niveles	Código
Nivel 1	9
Nivel 2	96
Nivel 3	961
Nivel 4	9617
Nivel 5	96178
Nivel 6	961781
Nivel 7	9617813

En el caso de Aguascalientes se llegó hasta el nivel 5. Haciendo una analogía, el nivel 2 corresponde a región hidrológica, nivel 3 a cuenca, nivel 4 a subcuenca y nivel 5 a microcuenca. El primer nivel de esta clasificación fue realizado por Eros Data Center en 1997, para su elaboración

se utilizó el MDE GEOTOPO30 (resolución de 30 segundos, equivalente a casi 1 Km) y la capa de Cuencas de HYDO1k; el segundo nivel lo desarrolló el United States Geological Survey (USGS).

Una vez creadas las microcuencas se generaron los atributos que las describen y que son: Clave de la Región hidrológica, Nombre de la Región Hidrológica, Clave de la Cuenca, Nombre de la Cuenca, Clave de la Subcuenca, Nombre de la Subcuenca, Clave de la microcuenca, Nombre de la Microcuenca y Tipo de Microcuenca. Los nombres y claves de la Región Hidrológica, Cuenca y Subcuenca se obtuvieron de la información del INEGI. Para la definición de los nombres de los diferentes Niveles, se tomó como primera instancia el nombre del río o arroyo, si no se tenía esta información se utilizó el nombre de la localidad de mayor población más cercana al escurrimiento en cuestión; esto se realizó utilizando los datos contenidos en el mapa de topónimos y del Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI.

## 5 RESULTADOS

Se incorporaron las divisiones hidrográficas a una base de datos geográficos. Estas comprenden los niveles de Pfafstetter 1,2,3,4 y 5, integradas en unidades jerárquicas.

Para el Nivel 1, por parte de Eros Data Center, se definieron 4 cuencas, 5 intercuenas y 1 cuenca interna para el subcontinente norteamericano, que incluyen la intercuenca México con código 9 (Figura 3).

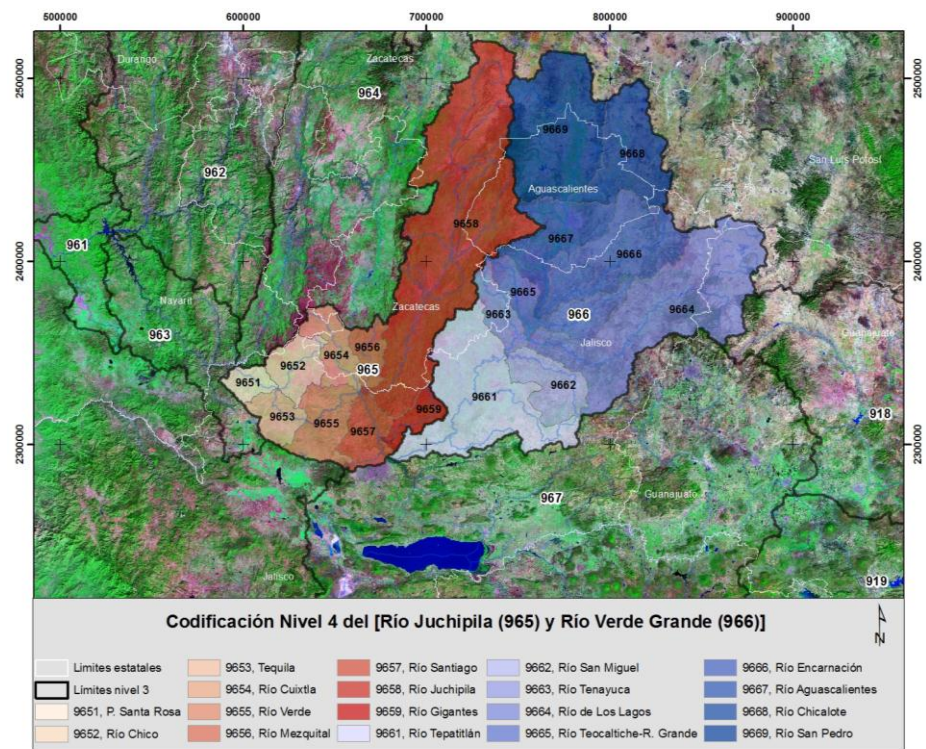
El Nivel 2, definido por el USGS, incorpora 4 cuencas, 5 intercuenas y 1 cuenca interna para México, que en cierta medida son coincidentes con las regiones hidrológicas consideradas por INEGI-INE-CONAGUA. En este caso, Aguascalientes queda incluido en la cuenca Lerma-Santiago con código 96 (Figura 4).

El Nivel 3 contiene 4 cuencas y 5 intercuenas que aproximadamente son equivalentes con las cuencas definidas por INEGI-INE-CONAGUA, dentro de las que destacan la cuenca Río Verde Grande con código 966 e intercuenca Río Juchipila con código 965 (Figura 9). En este Nivel 3, fue necesario realizar algunas funciones de edición para que todos los elementos se ajustaran solo a 9 entidades como lo supone el método de Pfafstetter.

En el Nivel 4, las subdivisiones que corresponden a las subcuencas consideradas en el esquema propuesto por INEGI (2010) fueron editadas para ajustarlas al esquema Pfafstetter y el resultado se muestra en la Figura 10.



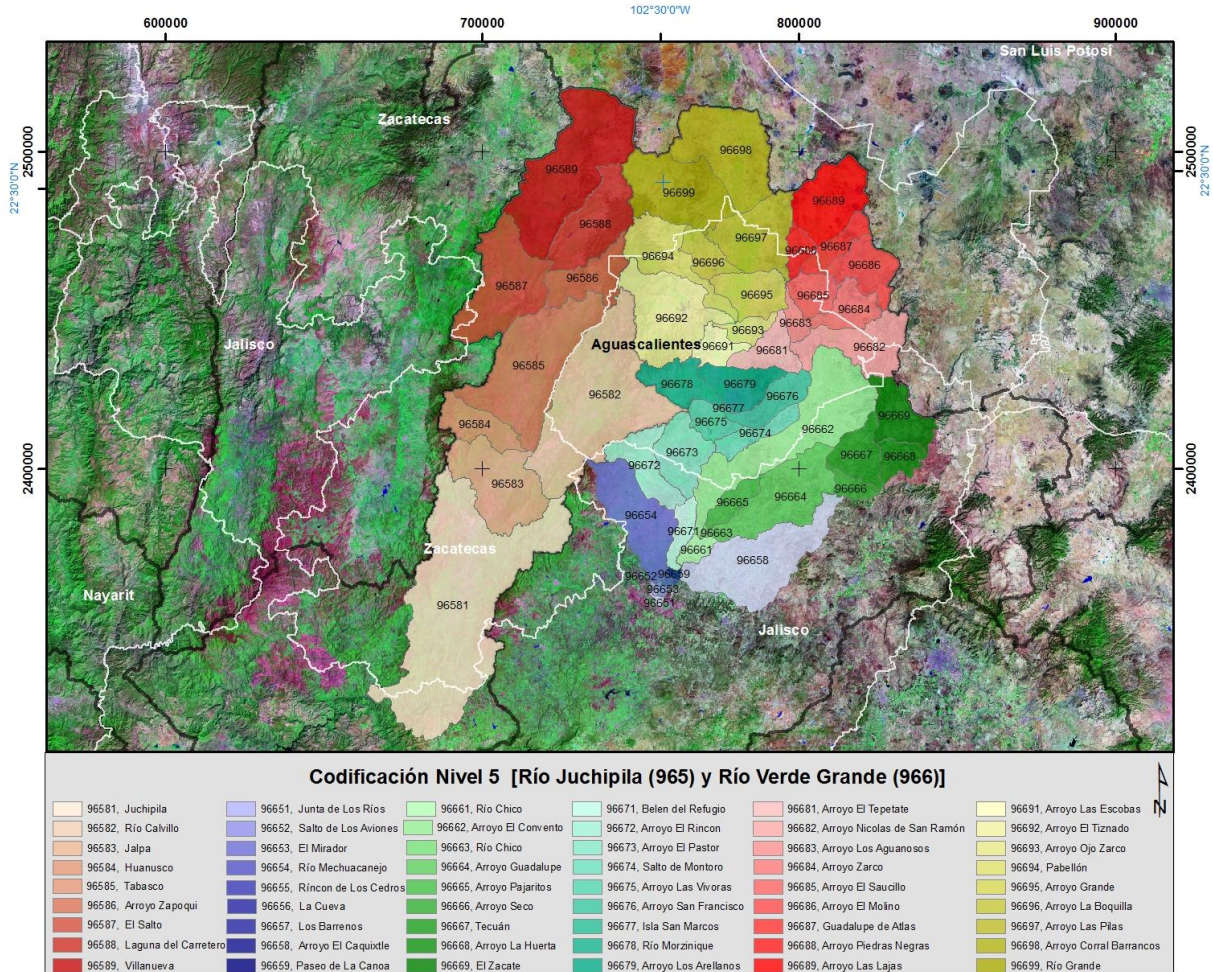
**Figura 9.** Dentro de las nueve subdivisiones de la región hidrológica Lerma-Santiago, se muestran la intercuencia del Río Juchipila con la clave 965 y la cuenca del Río Verde Grande con la clave 966.



**Figura 10.** Límite de las 18 subdivisiones de Nivel 4 con su codificación. De ellas, 9 corresponden a la cuenca del Río Verde Grande y otras 9 a la intercuencia del Río Juchipila.



En el Nivel 5, las subdivisiones corresponden a las microcuencas del Estado de Aguascalientes y fueron generadas manualmente a partir de la hidrografía y altimetría del INEGI a escala 1:50,000. Esta delimitación se realizó bajo el esquema de Pfafstetter, para las subdivisiones de Nivel 4 y se obtuvieron 54 en total. Aquellas cuencas e intercuenas que involucran los límites políticos del Estado de Aguascalientes solo son 32 (Figura 11).



**Figura 11.** Límite de las 54 subdivisiones de Nivel 5 con su codificación, para la cuenca del Río Verde Grande y la intercuenca del Río Juchipila.

## 6 DISCUSIÓN

Ante la necesidad de contar con un esquema coherente de subdivisiones hidrográficas del paisaje a escalas grandes, que puedan ser utilizadas por diferentes instancias para cubrir la demanda de zonificación que suponen los estudios relacionados con programas de ordenamiento territorial a nivel estatal y municipal, como planes de manejo de áreas naturales protegidas, estudios regionales forestales y todos aquellos trabajos que requieren de una estratificación del terreno, en la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Aguascalientes, se decidió generar un esquema de

microcuencas de alta exactitud gráfica, con su base de datos asociada en la que los atributos proveen una descripción completa de cada unidad, en formato “geo data base”, que garantice la mayor utilidad en las aplicaciones que deriven de su uso.

Así, se obtuvo una estructura jerárquica de divisiones hidrográficas, con límites coincidentes, para los niveles continental, nacional, regional y estatal, en 5 niveles relacionados con el enfoque propuesto por Otto Pfafstetter, y con la posibilidad de realizar nuevas subdivisiones para cubrir las expectativas de zonificación a nivel local.

Uno de los problemas que se enfrentó, fue la movilidad de los límites entre unidades (parteaguas) resultantes del cambio de escala, puesto que la representación cartográfica a escalas pequeñas y medianas, no garantiza la coincidencia de límites por efecto de la generalización de la información. En este caso, se decidió respetar los límites propuestos por las instituciones para los niveles 1, 2 y 3, y adaptar los límites para los niveles 4 y 5 de manera que se pudiese asegurar que los parteaguas de éstos sean consistentes con la cartografía 1:50,000.

Otro problema es el que se relaciona con la validación de la información cartográfica resultante, puesto que la Secretaría de Medio Ambiente del Estado no es la instancia de gobierno determinante para que los resultados sean considerados como oficiales para su uso a nivel regional, estatal y local. Los resultados obtenidos sugieren la constitución de una propuesta sujeta a modificaciones que, sin embargo, proveen a los interesados de una herramienta de análisis que no se puede obtener de otras fuentes.

A futuro, se continuará con la generación de las subdivisiones para los niveles 6 y 7 de manera que se puedan caracterizar, de forma adecuada, todas aquellas zonas tributarias que aportan escorrentías a los cauces y drenes de menor magnitud.

## REFERENCIAS

INEGI-INE-CONAGUA, 2007. Documento técnico del mapa de Cuencas hidrográficas de México (escala 1:250 000))

Hoffman, O., Salmerón, C. F. 1997. Nueve estudios sobre el espacio. Representación y formas de apropiación, México, CIESS.

Sarukhán, J. y Maass, M. 1990, Bases ecológicas para un manejo sostenido de los ecosistemas: El sistema de cuencas hidrológicas, en E. Leff, Medio ambiente y desarrollo en México, México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades de la UNAM, Grupo Editorial Miguel Ángel Porrúa, pp. 81-94.

Pfafstetter, Otto., 1989. Classification of hydrographic basins: coding methodology, unpublished manuscript, Departamento Nacional de Obras de Saneamiento, August 18, 1989, Rio de Janeiro; available from J.P. Verdin, U.S. Geological Survey, EROS Data Center, Sioux Falls, South Dakota 57198 USA.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo –UPGGR, Mapa de Cuencas Hidrográficas a Escala 1:50,000, República de Guatemala Método de Pfafstetter (Primera Aproximación). Memoria Técnica y Descripción de Resultados. Guatemala. 2009.

INEGI, Dirección General de Geografía y Medio Ambiente, Documento técnico descriptivo de la red hidrográfica escala 1:50 000, edición: 2.0, Agosto de 2010.



# APLICACIÓN DE LA TARJETA DE EVALUACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN DOCE CUENCAS DEL ESTADO DE CHIAPAS, MÉXICO

Adriana QUIROGA<sup>a</sup>, Alejandro IMBACH<sup>b</sup>, Manuel MORALES<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Geolatina-México S.C. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, adriana.quirogac@gmail.com  
<sup>b</sup> CATIE, Turrialba, Costa Rica <sup>c</sup> The Nature Conservancy, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

## RESUMEN

Se presentan los resultados de la aplicación de la Tarjeta de Evaluación de Cuencas Hidrográficas (TECH) en 12 cuencas del Estado de Chiapas, ubicadas en las regiones de la Costa, Sierra, Frontera, Depresión Central y Los Altos. La TECH es una herramienta diseñada para evaluar cuencas hidrográficas en forma rápida, analizando cinco dimensiones: estado de la cuenca (recursos hídricos, contaminación, biodiversidad y conectividad ecológica, uso de los recursos naturales, bienestar de la población, buen gobierno de la cuenca), tendencias en la cuenca, acciones hacia la sostenibilidad, medios y capacidades para el manejo de la cuenca e innovaciones-lecciones-ajustes; consta de 70 indicadores con sus respectivas escalas de desempeño. Para evaluar cada cuenca se realizó un taller de expertos, con la participación promedio de 15 personas (182 personas en total) provenientes de 32 instituciones de los sectores federal, estatal, municipal, comunitario, académico y no gubernamental. Se complementaron los resultados con la revisión bibliográfica de documentos a escala de cuenca. Las dos dimensiones en donde se presenta menor desarrollo (calificaciones más bajas) son: estado (en sus aspectos de contaminación y buen gobierno) e innovaciones-lecciones-ajustes. Las dimensiones de mayor desarrollo (calificaciones más altas) son tendencias y medios y capacidades. La evaluación permite analizar resultados de manera individual (por cuenca) y comparar entre un conjunto de cuencas similares (se agruparon por regiones). La TECH es una herramienta de gerencia estratégica para apoyar la toma de decisiones y monitoreo de procesos relacionados con el manejo integral de las cuencas.

**Palabras clave:** Evaluación rápida, procesos, cuencas, Chiapas, gerencia estratégica.

## 1 INTRODUCCIÓN

En el 2006 se publicó la Tarjeta de Evaluación de Cuencas Hidrográficas (TECH) y su aplicación piloto a la cuenca del Río Coapa, Pijijiapan, Chiapas (Imbach, 2006) con la intención de que fuese un punto de partida para aplicar la misma a otras cuencas de la región y del Estado de Chiapas. Cuatro años después de aquella versión se puso en marcha un proceso para la evaluación rápida de 12 cuencas del Estado de Chiapas, ubicadas en la Costa, Sierra, Frontera, Depresión Central y Los Altos, gracias a los esfuerzos conjuntos del Organismo de Atención a Emergencias de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)-Región Frontera Sur, del Fondo Mexicano para la Conservación del Ambiente (FMCN) y de la Dirección del Programa Chiapas de The Nature Conservancy (TNC) quien no solo promovió la preparación de la versión original, sino que dio continuidad a los esfuerzos para lograr una aplicación más generalizada de la misma. Esta versión conservó los principios y estructura general de la original al tiempo que introduce un grupo importante de

cambios a nivel de indicadores y escalas de desempeño, producto de realizar ajustes y revisiones entre los actores participantes. Estas modificaciones ampliaron el alcance de la TECH y la ajustaron al conjunto de nuevas condiciones propias del mayor grupo de cuencas por evaluar.

A finales del 2012 y principios de 2013 se preparó un análisis integral de los resultados, agrupando estas 12 cuencas en cinco regiones (Quiroga e Imbach, 2013), con el objetivo de identificar las problemáticas y fortalezas en común que comparten cuencas vecinas en una determinada región y de esta manera promover la generación de estrategias comunes de manejo integral de cuencas.

En el presente trabajo se muestran los resultados de la aplicación de la TECH en doce cuencas de Chiapas y sus posibles aplicaciones para la gerencia estratégica y manejo integral de cuencas.

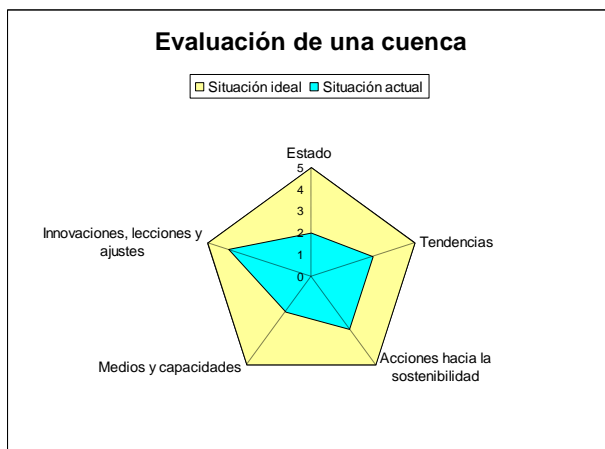
## **2 METODOLOGÍA**

La TECH es una herramienta diseñada para evaluar cuencas hidrográficas en forma rápida y poder utilizar los resultados de distintas maneras (Imbach, 2006). Los usos principales que se preveen son: 1) Análisis de una cuenca hidrográfica en particular, respecto a su situación ideal; 2) Comparación simultánea entre diferentes cuencas hidrográficas, con fines descriptivos o de priorización de actividades, inversiones, etc. y 3) Monitoreo de la evolución de una cuenca determinada mediante repetidas aplicaciones de la Tarjeta a lo largo de los años. La TECH está construida desde una perspectiva que considera a la cuenca hidrográfica como un territorio, por lo tanto, la misma no está enfocada en cuestiones hídricas sino que abarca un rango amplio de aspectos que incluyen los recursos hídricos, y también aspectos ambientales y socioeconómicos. La TECH está organizada en 5 dimensiones clave (aspectos) con sus respectivas variables (Tabla 1). Ver Apéndice A para mayor descripción.

**Tabla 1.** Dimensiones y variables consideradas en la TECH

<b>Dimensiones</b>	<b>Variables</b>
a. Estado de la cuenca	Recursos hídricos
	Contaminación ambiental
	Biodiversidad y conectividad ecológica
	Uso de los recursos naturales (tierra, agua, aire, biodiversidad)
	Bienestar de la población
	Buen gobierno
b. Tendencias en la cuenca	<i>Las mismas seis variables de Estado de la cuenca</i>
c. Acciones hacia la sostenibilidad	Oportunidades sostenibles emergentes
d. Medios y capacidades	Medios
	Capacidades
e. Innovaciones, lecciones y ajustes	Innovaciones
	Lecciones aprendidas
	Ajustes

Cada una de estas variables se evalúa mediante sus respectivos indicadores (Apéndice B). Los indicadores han sido seleccionados para que su valor pueda determinarse tanto por mediciones específicas como por estimación de expertos, de esta manera se pretende mitigar el frecuente problema de la falta de datos. A partir de los datos o estimaciones mencionadas, los indicadores se evalúan con escalas de desempeño, que convierten los valores específicos de cada indicador en una escala de juicios cuyo rango va de 1 (juicio más desfavorable) hasta 5 (juicio más favorable). Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados, la TECH presenta los resultados en dos formas: una matriz de aspectos, indicadores y resultados de evaluación –narrativa- y gráficos de resultados de evaluación, que son gráficos con ejes múltiples (de telaraña o pantalla) como el que se muestra en la Figura 1.

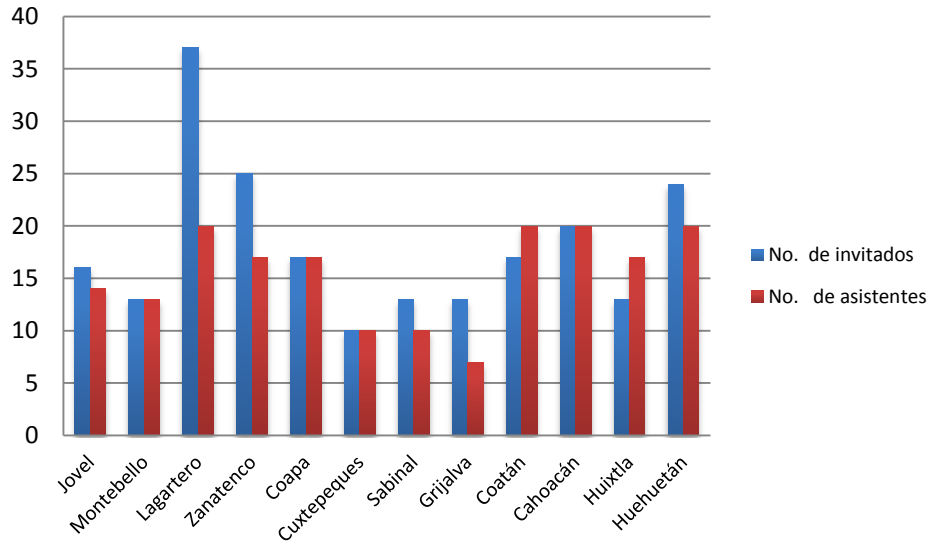


**Figura 1.** Gráfico con ejes múltiples (de telaraña) utilizado para mostrar resultados de evaluación

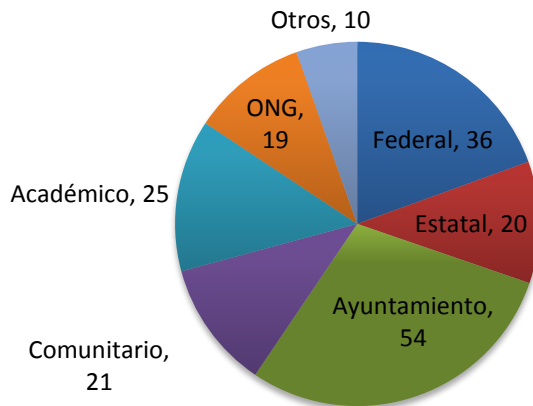
### 3 RESULTADOS

La estimación de expertos se realizó mediante talleres participativos con duración de un día en las sedes urbanas de cada cuenca. En colaboración con las gerencias de cuenca se convocó a participantes cuyos perfiles y trayectorias de trabajo indicaran experiencias relacionadas con los aspectos a evaluar. Para llevar a cabo la evaluación, los asistentes a los talleres se agruparon en mesas de trabajo por afinidad temática con los aspectos y grupos de variables. Cada grupo de trabajo presentó en plenaria los resultados. Una vez concluido cada taller, se consultaron diferentes publicaciones para complementar la estimación de expertos o bien para calificar el indicador a falta de una estimación confiable (para cada indicador los expertos indicaron el grado de confiabilidad – alto, medio y bajo-). En total a las doce evaluaciones se convocó a 218 expertos y asistieron 185, resultando un promedio de 15 personas por taller (Figura 1). Hubo diversidad en cuando a la representación de los diferentes sectores gubernamental, no gubernamental, académico, y niveles: estatal, federal, municipal y comunitario (Figura 2).





**Figura 1.** Número de invitados y asistentes a cada aplicación de la TECH



**Figura 2.** Representación de los diferentes sectores y niveles

en los talleres de aplicación de la TECH

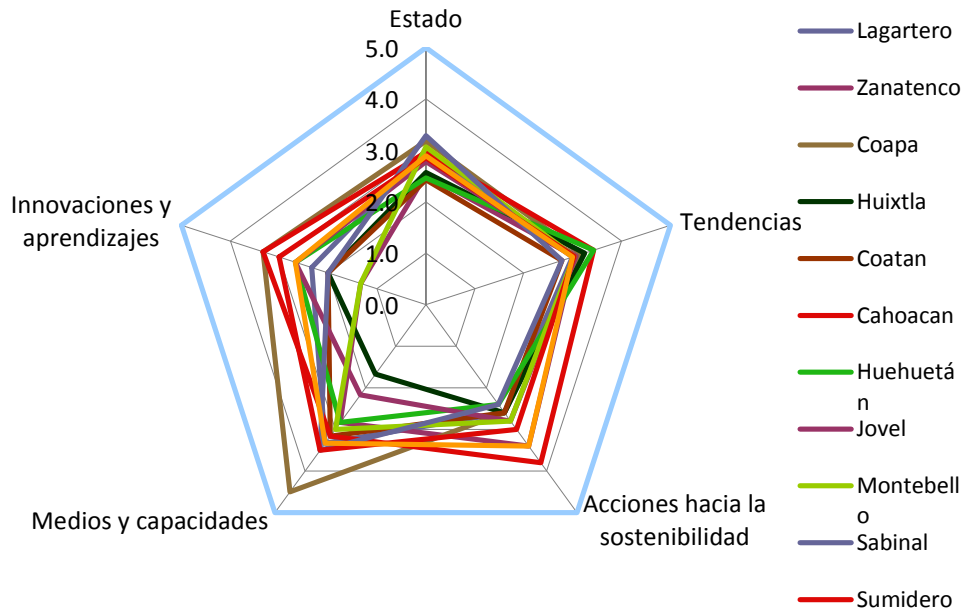
En la Tabla 2 se presenta el promedio de los cinco aspectos: estado, tendencias, acciones hacia la sostenibilidad, medios y capacidades e innovaciones para cada cuenca. Los datos se señalan en rojo, amarillo y verde (de 0 a 2.4 rojo; de 2.5 a 3.5 amarillo y de 3.6 a 5 verde) con el objeto de llamar la atención sobre algunos de ellos. Considerando el conjunto de cuencas, el promedio de calificaciones más bajas está en las dimensiones de innovaciones y en estado.

**Tabla 2.** Semáforo de las diferentes dimensiones del manejo integral en doce cuencas de Chiapas.

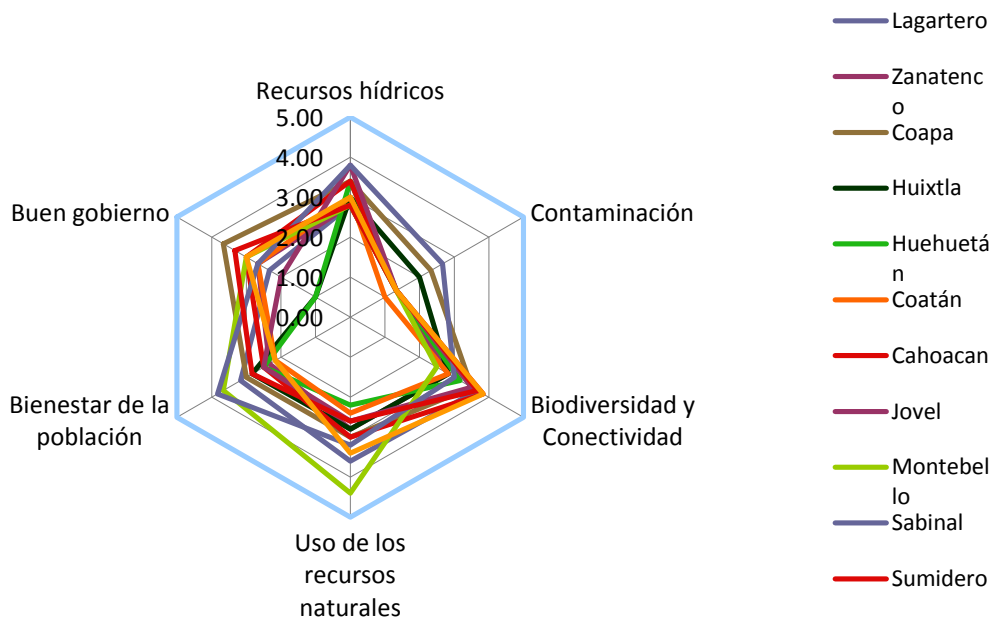
	Estado	Tendencias	Acciones hacia la sostenibilidad	Medios y capacidades	Innovaciones y aprendizajes
Jovel	2.8	3.1	2.8	2.2	2.7
Montebello	2.6	3.0	2.8	3.0	1.3
Coapa	3.2	3.2	2.6	4.5	3.3
Lagartero	3.0	3.0	2.6	3.3	2.3
Zanatenco	2.5	3.0	3.4	2.8	1.3
Sabinal	3.3	2.8	2.4	3.5	2.0
Sumidero	2.9	3.0	3.0	3.5	3.0
Cuxtepeques	2.9	3.0	3.4	3.3	2.7
Coatán	2.4	2.8	2.6	3.2	2.0
Cahoacán	3.0	3.4	3.8	3.2	3.3
Huixtla	2.6	3.3	2.6	1.7	2.0
Huehuetán	2.5	3.4	2.4	2.8	2.7
Promedio	2.81	3.08	2.87	3.08	2.38

La Figura 3 muestra los resultados para el conjunto de cuencas. Si bien son los mismos datos que la matriz anterior, se logra observar que medios y capacidades presenta mayor dispersión de sus calificaciones, es decir, la valoración para cada cuenca es más irregular y comprende un rango de valores más extenso (1.7-4.5). Le siguen en cuanto a calificaciones dispersas entre cuencas innovaciones (1.3-3.3) y acciones hacia la sostenibilidad (2.4-3.8). En cuanto a tendencias (2.8-3.4) y estado (rango 2.5-3.3) se reflejan valores con similitud entre sí y menos dispersión.

El aspecto estado se conforma por seis variables, entre las cuales contaminación y buen gobierno presentan la menor calificación (Figura 4) para el conjunto de cuencas. Se observan las calificaciones más diferentes entre si en la variable buen gobierno, seguida de uso de los recursos y bienestar de la población.



**Figura 3.** Evaluación de los aspectos del manejo integral en doce cuencas de Chiapas



**Figura 4.** Evaluación de las variables de estado en doce cuencas de Chiapas

## **4 DISCUSIÓN**

En el caso de los cinco aspectos: estado, tendencias, acciones hacia la sostenibilidad, medios y capacidades, e innovaciones, es este último el que mostró menor calificación en las cuencas evaluadas. Este aspecto refleja la vigencia o no del modelo seguido para el manejo de la cuenca, de las alternativas contempladas y de los actores y estrategias adoptadas, este componente detecta la necesidad de realizar procesos de ajuste a varios niveles: revisión de los procesos de planificación, del modelo de cuenca y la sistematización y documentación de experiencias que estén siendo aplicadas con buen grado de adopción y tengan usos potenciales en otras cuencas. Tanto medios y capacidades (dimensión), como buen gobierno (variable) mostraron los rangos de calificaciones más amplios entre las cuencas, haciendo notar que aún entre cuencas geográficamente cercanas y bajo una normatividad estatal similar, existen diferencias en cuanto a contar o no con un comité de cuencas, plan de manejo o de gestión, líderes y organizaciones comunitarias involucradas activamente en la gestión, reglamentos, reuniones y financiamientos relacionados con la cuenca, los cuáles son temas contemplados en medios y capacidades y buen gobierno.

## **5 CONCLUSIONES**

La aplicación de la TECH demostró ser un método práctico, sencillo y generador de información relevante para ser utilizado en la gerencia y manejo integral de las cuencas de estudio. Los resultados permiten observar desde diferentes perspectivas los aspectos del manejo que requieren mayor atención. Sin embargo, este instrumento presenta limitaciones para el abordaje de temas que requieren de una escala de análisis mayor al de la cuenca hidrográfica, como lo pueden ser la conservación de la biodiversidad, la pobreza, algunas cuestiones étnicas y otros. Un aspecto operativo que debe considerarse en la aplicación, es el de la disponibilidad de información, en ese sentido la tarjeta debe tener la posibilidad de aceptar y articular información que se obtenga a partir de un marco amplio de fuentes, desde datos cualitativos obtenidos por procedimientos científicos rigurosos hasta estimaciones genéricas de expertos. Esta flexibilidad es esencial para que el instrumento pueda ser usado rápidamente y sin demoras pese a que haya falta de información científica y también para poder incorporar la información científica, de modo de mejorar la calidad de la información y también de alentar la inversión en la generación de ese tipo de información. Finalmente, y pese a que haya diversos planes y modelos de cuencas, es necesario conservar la homogeneidad de la TECH a fin de que los resultados de las distintas cuencas sean comparables entre sí.

## **APENDICE A DESCRIPCIÓN DE LOS CINCO ASPECTOS Y VARIABLES DE ESTADO DE LA TECH**

1. Estado & 2. Tendencias: Se diseñaron para incluir varios temas clave (variables) para las organizaciones que trabajan en este tema. Cada una de las variables de estado de la cuenca es considerada desde el punto de vista de su estado actual y también de sus tendencias. Son de importancia equivalente y deben ser considerados por separado para evitar confusiones de apreciación. Cada uno de ellos constituye un aspecto (o eje) de evaluación en la TECH. Las variables son:

- Recursos hídricos: dado que dichos recursos son el elemento distintivo del enfoque en cuencas hidrográficas y como tal fue incluido como variable prioritaria para la evaluación del estado y tendencias de la cuenca.
- Contaminación: incluye contaminación de las fuentes de agua y por sólidos.
- Biodiversidad y conectividad ecológica: El alcance de esta variable es solamente el de ecosistemas, dadas las limitaciones para obtener información secundaria para los restantes niveles de diversidad biológica (especies y genes). Conectividad ecológica valora el grado de conexión entre áreas naturales protegidas o zonas de la cuenca con ecosistemas autóctonos.
- Uso de los recursos naturales. Uno de los objetivos tradicionales del manejo de cuencas es asegurar la estabilidad de la capacidad productiva de los recursos naturales (tierras, agua y otros) y evitar su degradación. Por ello este tema es otra de las variables clave del estado y tendencias de la cuenca.
- Bienestar de la población. El otro gran objetivo tradicional de la gestión y manejo de cuencas es lograr que los habitantes de la cuenca tengan una calidad de vida adecuada en todos sus aspectos y oportunidades para desarrollar sus potencialidades.
- Buen Gobierno. Este tema está ligado al de la gestión de cuencas. El manejo de los recursos naturales del territorio es realizado por aquellos que son propietarios y/o tienen acceso a los mismos. Dicho manejo es influenciado por una serie de factores externos que van desde el marco normativo legal (federal, estatal y municipal) hasta la acción de las instituciones y organizaciones; estos factores generan una gama de incentivos (positivos y negativos) que influyen significativamente sobre el manejo. Los actores relacionados con el manejo y con la gestión se encuentran en los organismos de cuencas y reflejan sus acuerdos en los planes de manejo (o documentos similares) de cuencas. Dada la importancia de estos acuerdos y de los espacios organizativos donde se generan, este tema constituye la última variable importante en la evaluación del estado y tendencias de la cuenca.

3. Acciones hacia la sostenibilidad: Una vez evaluados el estado y tendencias de la cuenca, la TECH incluye una serie de aspectos relacionados con los procesos que influyen en el estado y tendencias antes mencionados. El primero de ellos es el de las acciones hacia la sostenibilidad, o sea las acciones emergentes que se van desarrollando en el territorio para asegurar la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos naturales.

4. Medios y capacidades para el manejo de cuencas: Se entiende como medios a los componentes organizativos básicos y a los procesos y documentos orientadores que deben existir para poder hacer un manejo o gestión efectiva de las cuencas. Se entiende por capacidades la disponibilidad de las condiciones y habilidades técnicas y organizativas necesarias para generar los medios y poner en práctica sus propuestas. Por ejemplo, el plan de manejo de la cuenca es un medio, lo mismo que la existencia de un comité de cuencas o la existencia de grupos organizados en las comunidades. Capacidades refleja la existencia de líderes y organizaciones locales con compromiso para involucrarse efectivamente en el manejo de cuencas.

5. Innovaciones, lecciones y ajustes: Por mejor que se diseñe el modelo de la cuenca y por más cuidadosa que sea la identificación de actores y las estrategias, toda planificación comienza a sufrir de obsolescencia y por lo tanto a requerir ajustes. Asimismo el progreso tecnológico y las prácticas que se adoptan van creando nuevas condiciones, lo mismo que el conocimiento creciente que los actores van adquiriendo a partir de sus prácticas renovadas (o de las de sus vecinos). Este aspecto valora la vigencia del modelo de la cuenca, de las alternativas contempladas y de los actores y estrategias adoptadas. Este componente de la Tarjeta es el que detecta y desata procesos de ajuste a varios niveles (incluso en la misma Tarjeta) cuando se evidencia la necesidad de hacerlo.

## **APÉNDICE B EJEMPLO DE ALGUNOS INDICADORES, DESCRIPCIÓN Y ESCALAS DE DESEMPEÑO**

### **Aspecto: Estado de la cuenca. Variable 1: Recursos hídricos. Indicadores:**

1. Disponibilidad de agua para usos agropecuarios, industriales y ambientales. (Descripción: Porcentaje del volumen total de agua ingresada a la cuenca por precipitaciones (P) y transvases de otras cuencas (T) disponible para los usos citados, una vez descontados la evapotranspiración y el consumo humano.  
(1) Menos de 20% (2) 20 a 30% (3) 30 a 50% (4) 50 a 60% (5) Más de 70%
2. Zonas respetadas de desbordes temporales de los ríos. (Descripción: Es el porcentaje de zonas inundadas temporalmente que no se usan con otros fines (vivienda, producción). Se calcula dividiendo la superficie de áreas que se inundan en forma periódica y que no están bajo uso regular, entre la superficie total de áreas que se inundan periódicamente y multiplicando por 100.  
(1) 20% o menos (2) 21 a 35% (3) 35 a 60% (4) 60 a 90% (5) 90% o más
3. Transporte de sedimentos en los ríos. (Proxy. Promedio de los Indicadores de: a. proporción de tierras que se usan con mayor intensidad que su capacidad. b. proporción de tierras con erosión hídrica. Ambos indicadores corresponden a Uso de Recursos Naturales. Se calcula promediando el valor de escala de estos indicadores).

4. Conectividad hídrica. (Número de represas de cualquier tipo (riego, regulación, hidroeléctricas, otras) que interrumpen la conectividad del río principal de la cuenca).  
(1) 4 o más      (2) 3      (3) 2      (4) 1      (5) Ninguna
5. Respeto del caudal ecológico. (Número de puntos del río principal donde en algún momento del año se extrae más del 90% del caudal para cualquier uso. *No incluir cursos naturalmente intermitentes*).  
(1) 4 o más      (2) 3      (3) 2      (4) 1      (5) Ninguna

## **Variable 2. Contaminación**

6. Contaminación por aguas residuales (Descripción: Cantidad de unidades familiares que desechan aguas sin tratar directa o indirectamente a los cursos de agua. No incluye sistemas de tratamiento in situ como letrinas, tanques sépticos y similares. Incluye descargas domésticas a colectores que luego vierten sus aguas sin tratar a los cursos de agua)  
(1) Más de 5,000 viviendas   (2) Entre 3,000 y 5,000   (3) Entre 1,000 y 3,000   (4) Entre 100 y 1,000      (5) Menos de 100
7. Contaminación por residuos sólidos (Descripción: Número sitios no regulados para la disposición de residuos sólidos en la cuenca. Se considera como sitio a todo montículo de basura con un diámetro mayor a 4 metros. Los botaderos a cielo abierto manejados por Municipios no se incluyen en el conteo).  
(1) Más de 50      (2) 20 a 50      (3) 5 a 20      (4) Menos de 5      (5) Ninguno
8. Contaminación por residuos químicos (Número de centros de acopio para la disposición de insumos agropecuarios, baterías alcalinas y aceites de automotores en la cuenca).  
(1) Ninguno      (2) 1      (3) 2-3      (4) 3-4      (5) Más de 5

Debido al espacio limitado para este documento, no es posible incluir la descripción y escala de desempeño de cada indicador, por lo que se sugiere al lector revisar estos dos aspectos en la siguiente publicación (Imbach, 2006): [http://www.portalcuencas.net/Virtual\\_Library/Files/460.pdf](http://www.portalcuencas.net/Virtual_Library/Files/460.pdf)

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al Biól. Alejandro Hernández Yáñez de TNC por impulsar desde el inicio (2006) la aplicación de esta herramienta y mantener interés dando seguimiento a este proceso; al Físico César Triana de CONAGUA-Organismo de Cuenca Frontera Sur, quien desde la dirección de Atención a Emergencias y Consejos de Cuenca coordinó a las gerencias de cuenca participantes y al Biól. Juan Manuel Frausto del FMCN por el apoyo y sus comentarios en este esfuerzo conjunto. Sin el apoyo de los gerentes de las cuencas y las personas que asistieron a los talleres de evaluación (enlistadas en cada informe de evaluación) este trabajo no hubiera sido posible. Nuestro reconocimiento a las fuentes de financiamiento en diferentes momentos del proceso: The Nature Conservancy, Comisión Nacional del Agua, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y el Ministerio Federal del Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear del Gobierno Alemán.

## REFERENCIAS

- Imbach, A. 2006. Tarjeta de Evaluación de cuencas hidrográficas (TECH) y su aplicación piloto a la cuenca del Río Coapa, Pijijiapan, Chiapas. The Nature Conservancy. 55 Pp. [http://www.portalcuencas.net/Virtual\\_Library/Files/460.pdf](http://www.portalcuencas.net/Virtual_Library/Files/460.pdf)
- Quiroga C., A. y Imbach, A. 2013. Aplicación de la Tarjeta de evaluación de cuencas hidrográficas en doce cuencas del estado de Chiapas, México: análisis integral de resultados. The Nature Conservancy, Comisión Nacional del Agua y Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. 61 Pp.



# OTRA OPORTUNIDAD PARA EL RÍO EL SABINAL EN CHIAPAS: UN PLAN DE MANEJO ESTRATÉGICO

Raúl PINEDA-LÓPEZ<sup>ac</sup>, Milagros CÓRDOVA-ATHANASIADIS<sup>ac</sup>, Ricardo PÉREZ-MUNGUÍA<sup>bc</sup>, Hugo LUNA-SORIA<sup>ac</sup>, Oscar GARCIA-RUBIO<sup>ac</sup>, Idolina MOLINA<sup>bc</sup> y Alba DÍAZ PEREIRA<sup>ac</sup>

<sup>a</sup>Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus-UAQ  
Aeropuerto, email: rfpinedal@gmail.com

<sup>b</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

<sup>c</sup>Fundación Hombre Naturaleza

## RESUMEN

El Río Sabinal es la principal corriente en una subcuenca del mismo nombre que atraviesa la ciudad y municipio de Tuxtla Gutiérrez en Chiapas y comprende además, otros dos municipios Berriozábal y San Fernando. La subcuenca muestra una amplia transformación debido a los cambios de uso del suelo relacionados con la expansión urbana de la ciudad capital. En este contexto se llevó a cabo un análisis de la estructura y función de la subcuenca para plantear un plan de manejo integral y para ello se formó un equipo de trabajo interdisciplinario. Los principales resultados del análisis de la estructura y función de la subcuenca fueron: 1) el cambio de uso del suelo ha llevado a una transformación del 60 % del uso original por áreas urbanas, la expansión de la frontera agropecuaria; 2) la degradación del suelo causada por el hombre indica que la erosión hídrica, la agricultura y ganadería, la deforestación y la expansión urbana han causado problemas de pérdida de suelo en más del 70% de la subcuenca; 3) los cauces muestran alteraciones geomorfológicas importantes, que aunados a la contaminación rural y principalmente urbana, producen una baja integridad biótica y sus modificaciones son las responsables del aumento en la escorrentía y caudal que causan inundaciones en la ciudad y de la baja calidad del agua. Los habitantes de la cuenca son eminentemente urbanos o periurbanos pues menos del 1 % de ellos se dedican a actividades del sector primario y los municipios de la cuenca alta muestran importantes rezagos en materia de desarrollo humano. En este contexto y de manera participativa con grupos de interés en la subcuencas se definió un plan estratégico con énfasis en las subcuencas y conjuntando varios instrumentos de planeación culminando en una propuesta de desarrollo de 13 proyectos prioritarios que permitirán recuperar la estructura y función de la cuenca en el mediano plazo.

**Palabras clave:** Cuenca, Río, Sabinal, Chiapas, Plan de Manejo

## INTRODUCCIÓN

La cuenca del Río Sabinal tiene una larga historia entre los habitantes de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, ya que un poco menos de la mitad del recorrido del río lo hace dentro de la ciudad capital del estado de Chiapas. Se trata de una cuenca rural en su parte alta y media y urbana en su porción baja. A pesar de los varios estudios e investigaciones realizadas en la cuenca (Gómez-Castro et al 2002;2006;Gordillo *et al.* 2011, Ortiz, 2011; Riechers, 2007; Molina, 2006; López, 2006; Rocha, 2010; Fernández, 2010; Culebro *et al.* 2008; CONAGUA, 2010; SEMAVI, 2009; Penagos, 2007; Castañón y Abraján, 2009; Espinoza-Jiménez, et al, 2011), que señalan su importancia y necesidad de conservación.

Se reconoce que ha habido un fuerte impacto de las actividades agropecuarias en su zona funcional de cabecera y transición, mientras que los impactos urbanos en las zonas funcionales de transición y emisión han modificado la estructura y función de la cuenca dando lugar a inundaciones periódicas, deterioro de su calidad del agua y un impacto sobre el río Grijalva dentro del Cañón de Sumidero.

En este contexto la Fundación Hombre Naturaleza con el apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte deciden elaborar un plan de manejo estratégico con el concurso de un grupo interdisciplinario de varias universidades.

Este trabajo tiene como objetivo, presentar un diagnóstico rápido de la estructura y funcionamiento de la cuenca del Río Sabinal y una propuesta de manejo integrado elaborado de manera participativa.

## **METODOLOGIA DE ANÁLISIS DE LA CUENCA**

Se empleó una aproximación interdisciplinaria empleando una metodología donde el centro de la misma fue la relación estructura-función de la subcuenca en un contexto de desarrollo rural-urbano. En una primera etapa, se recopiló la información previamente publicada lo que permitió una caracterización actualizada.

En una segunda etapa, se diseñaron algunos estudios estratégicos para conocer la estructura y función actual de la subcuenca: se analizaron los cambios del uso del suelo en el período 1991-2011; la degradación de suelos causada por el hombre; el análisis geomorfológico, de calidad visual e integridad biótica basada en macroinvertebrados de los cauces con datos de 13 sitios de muestreo. Este análisis se complementó con la determinación de la calidad del agua en los mismos sitios. El análisis hidrológico se hizo considerando la influencia de los fenómenos hidro-meteorológicos extremos, el comportamiento normal del cauce y la situación de flujo dentro del cauce en la zona urbana.

De manera paralela, a esta segunda aproximación se inició la tercera etapa el trabajo conjunto con grupos de interés de la subcuenca que se trabajó con tres grupos: actores de la sociedad civil, grupos académicos de las universidades y centros de investigación y a los representantes de los tres niveles de gobierno. El trabajo con estos grupos, permitió en un taller final definir los elementos del plan de manejo estratégico que culminó con el planteamiento de los proyectos estratégicos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **EL CAMBIO DE USO DEL SUELO**

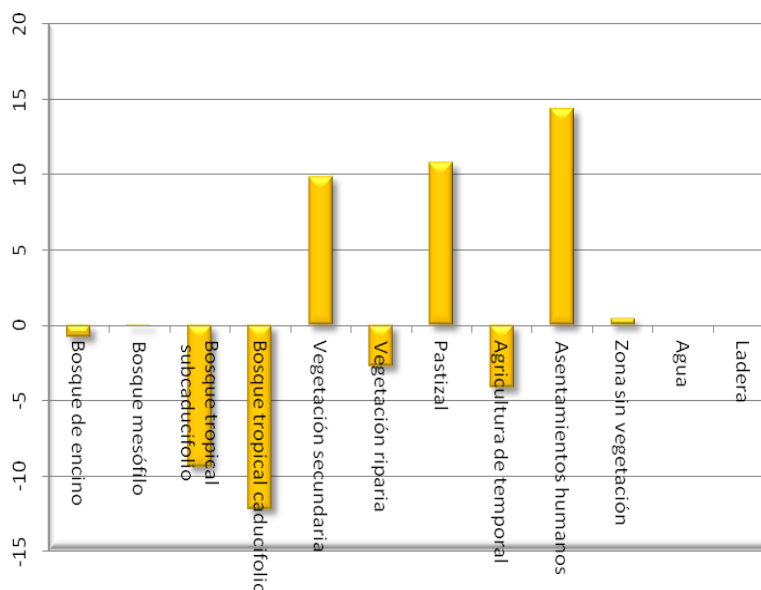
El estudio de la magnitud, dinámica y causalidad de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo es una tarea prioritaria (Boccoet *al.*, 2001), ya que permite tener una visión sinóptica y cuantitativa de la condición en la que se encuentran los recursos naturales y las tendencias de los procesos de degradación, en los que intervienen factores ecológicos y socioeconómicos (Velázquez *et al.*, 2002).

Los tipos de cobertura del suelo encontrados en la zona de estudio incluyen las áreas agrícolas, los asentamientos humanos, los pastizales, las zonas sin vegetación aparente, los cuerpos de agua, los bosques de encino, bosque tropical caducifolio, el subcaducifolio, el bosque mesófilo de montaña, la vegetación riparia y la vegetación de tipo secundario.

La distribución espacial de los cambios de uso del suelo, durante el periodo 1991-2011, fue equivalente al 39.31% de la superficie de la Subcuenca, lo que en términos absolutos se traduce en 16,028.09 ha, mientras que el 60.66% del territorio ha permanecido sin cambio alguno.

Los principales cambios de uso del suelo y vegetación son de origen antrópico afectando toda la Subcuenca; siendo los asentamientos humanos, las zonas sin vegetación aparente y las áreas de pastizal, aquellas categorías que muestran un incremento significativo en cuanto a su superficie, mientras que las zonas con algún tipo de vegetación natural manifiestan un notable deterioro.

Aunque el cambio total en el área, numéricamente no parece significativo, hay un detrimento en la superficie neta de la vegetación natural que ha ocasionado la fragmentación de los ecosistemas naturales y el incremento de otras coberturas como pastizales y vegetación secundaria, a los que posteriormente se les da un uso agropecuario, o se intensifica el mismo, o bien es más factible que este tipo de cobertura sea urbanizable.



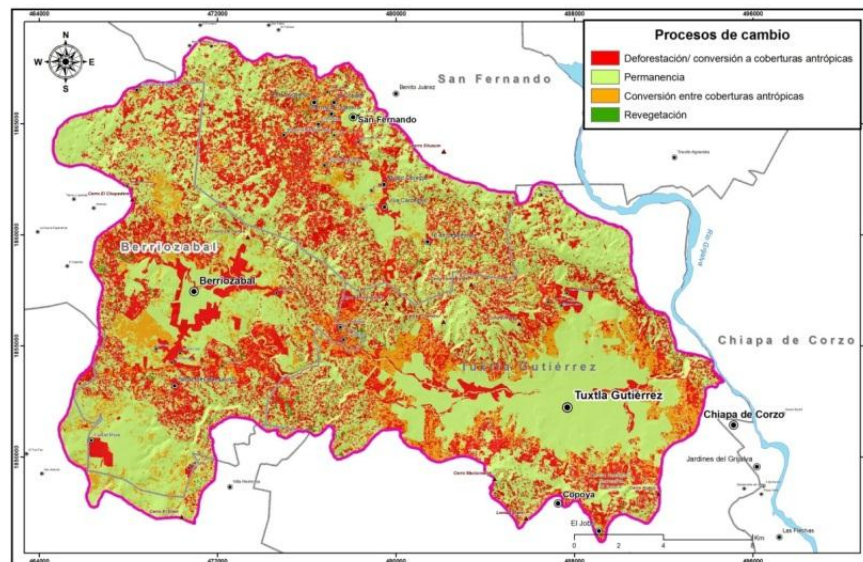
**Fig. 1. Tasas de cambio de los usos del suelo de la subcuenca del río Sabinal**

Mientras que todos los tipos de cobertura vegetal presentan una notoria reducción superficial (Fig. 1). Los encinares de la zona han reducido su cobertura en un 20%. El Bosque mesófilo de montaña, en un 7%, que pudiera parecer no significativo, pero dada la fragilidad la disminución en su cobertura es importante. Los bosques tropical caducifolio y el bosque tropical subcaducifolio,

muestran una reducción equivalente del 52.5% y 42.6% de su superficie. Asimismo, la vegetación riparia, presenta una reducción del 60.1% de su cobertura respecto a 1991.

Por otro lado, las clases de uso del suelo que presentaron tasas de cambio positivas, presentaron ganancias significativas. Se presentó un crecimiento superior al 100% de la superficie original (1991), en un periodo de 20 años. Las zonas sin vegetación aparente presentan incremento superficial equivalente al 152%.

Se determinaron cuatro procesos principales implicados en el cambio de uso del suelo de la Subcuenca (Fig. 2): 1) Degradación antrópica, (afecta al 28.53% del área de la Subcuenca; 2) Permanencia, representa el 60.29% de la Subcuenca; 3) Conversión entre coberturas antrópicas, que representa el 10.48% en superficie y 4) Revegetación, que cubre menos el 1% de los procesos de cambio.



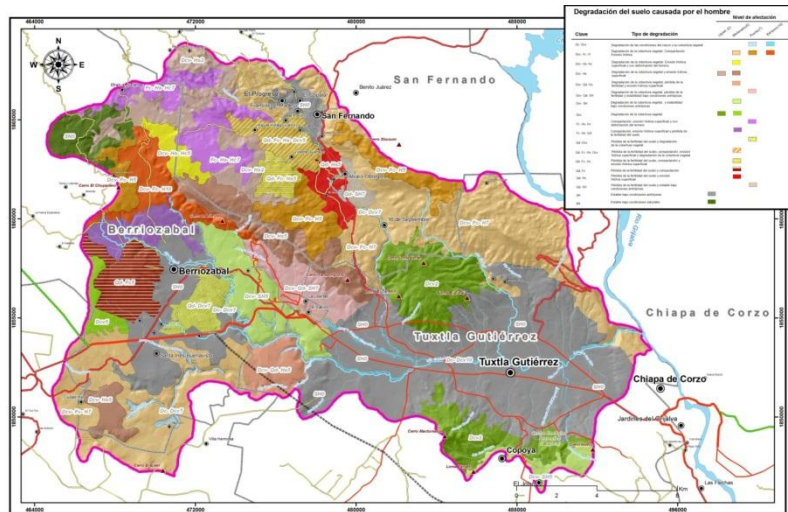
**Fig. 2. Procesos de cambio de los usos del suelo de la subcuenca del río Sabinal**

## DEGRADACIÓN DEL SUELO

En una cuenca los procesos de degradación de suelos ocasionan diversas y extensas externalidades negativas, como el aumento de la sedimentación en cuerpos de agua, la disminución de la vida útil de las presas, la degradación del hábitat acuático y el aumento del riesgo de inundación, entre otros (Cotleret *et al.*, 2007).

Derivado de los análisis y observaciones realizadas en la Subcuenca y las 23 unidades de paisaje definidas, se terminó que el 75.99% de la superficie territorial que cubren la zona de estudio, se encuentra afectada por algún tipo de degradación del suelo causada por el hombre (Fig. 3). De este porcentaje 15.97% del área presenta un grado de afectación ligero; 25.45% moderado; 31.17% fuerte y 3.4% extremo. Esto indica la urgente necesidad de realizar procesos de intervención a fin

de recuperar la estructura y función de la Subcuenca y controlar y revertir los diversos procesos de degradación que se presentan en ésta. En el siguiente mapa se resumen los resultados de la degradación de suelos en la subcuenca.



**Fig. 3. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre**

Los resultados indican que los procesos involucrados en la degradación del suelo de la Subcuenca, son distintos y aparecen combinados, algunos son derivados de otros. Sobresale la degradación de la cobertura vegetal, como el proceso que mayor afectación ha causado en la zona de estudio, aproximadamente el 60.4% de la superficie de la Subcuenca, presenta este tipo de degradación, siendo los principales factores causales la ganadería extensiva, la deforestación que propicia el cambio de uso del suelo, y el crecimiento urbano.

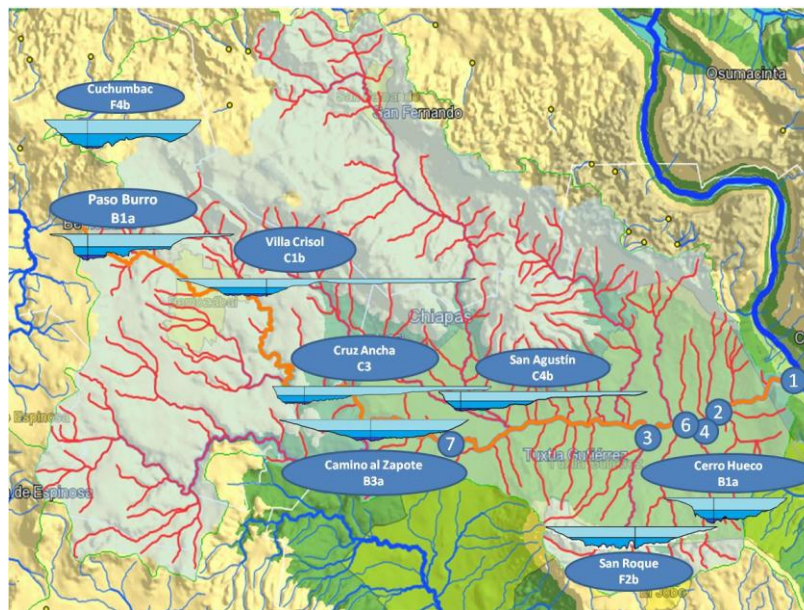
La erosión hídrica es un proceso que se presenta en prácticamente el 50% de la zona de estudio. Este se presenta a distintos niveles de afectación; desde algunos indicadores como microrelieve y pasillos de flujo, que señalan una erosión superficial y que en este estudio se determinó afectan igualmente el 50% de la Subcuenca; hasta la presencia de terracetas, cárcavas y áreas inestables propicias para deslizamientos, que son indicadores de erosión extrema, que afectan al 17.53% de la zona.

La degradación de las propiedades físicas basada en el análisis de la compactación superficial, señala que el 34.69% de la Subcuenca presenta problemas de compactación ligeros- fuertes, siendo las zonas de agostadero las que presentaron los valores más altos; por lo que se deben llevar a cabo estudios para determinar la capacidad de carga animal y los coeficientes de agostadero. La evaluación de la degradación de las propiedades químicas del suelo, a partir de pérdida de fertilidad, indicó que el 12.42% de las áreas agrícolas presentan pérdida de fertilidad por bajo contenido de materia orgánica, derivado tanto de las prácticas de manejo local, como roza, tumba y quema; como del sobreuso de algunos fertilizantes inorgánicos.

En conclusión, la Subcuenca del Río Sabinal se encuentra afectada por distintos tipos de degradación, dentro de los que sobresalen la degradación de su cobertura vegetal y la erosión hídrica. El presente estudio permitió identificar áreas, que de acuerdo a su estado de deterioro, requieren de distintas estrategias de intervención. Dentro de éstas, se debe contemplar como estrategia transversal la articulación de los distintos instrumentos de planeación territorial que hay en la Subcuenca, e involucran dentro de este proceso, a los actores que tienen poder de decisión sobre el uso de sus espacios y recursos.

#### ANÁLISIS DE LOS CAUCES Y CALIDAD DEL AGUA

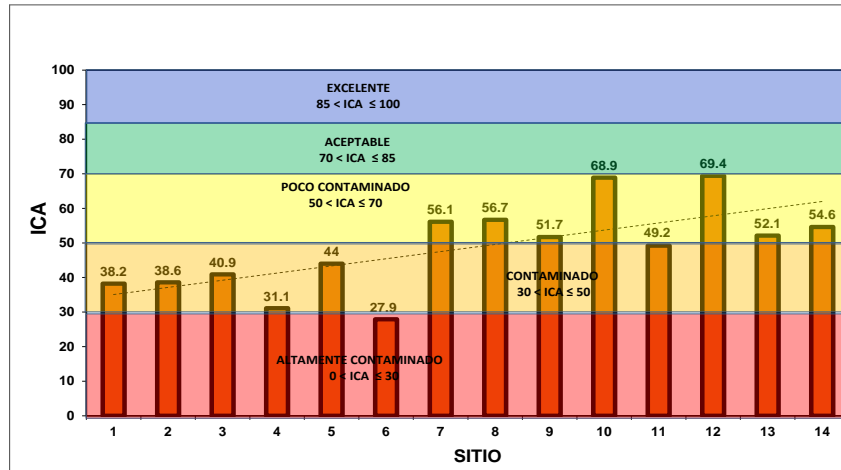
Los resultados obtenidos del análisis de estado más probable, muestran que la totalidad de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se encuentra en un valle de tipo VIII, que se caracteriza por la presencia de múltiples terrazas ribereñas posicionadas lateralmente a lo largo de amplios valles con pendientes suaves. En las planicies de inundación que se encuentran en la parte baja del valle predominan áreas de depósito que abastecen de sedimentos a los cauces interiores. Casi todos los sitios muestreados aún conservan sus características geomorfológicas, excepto el sitio 5 “Villa Crisol”, en el que los cambios de uso del suelo ha provocado que el cauce haya cambiado respecto del tipo de valle esperado (Fig. 4).



**Fig. 4. Tipos de cauce encontrados en el área en estudio**

La evaluación espacial (Fig. 5) del índice de calidad del agua (ICA) mostró que el sitio que presenta el valor más bajo de 27.9 es Salida del arroyo Centro al río Sabinal (6) quedando clasificado como altamente contaminado. Los sitios Salida del arroyo Cerro hueco al río Sabinal (4), Confluencia del río Sabinal con el río Grijalva (1), Puente Jaime Sabines (2), Salida del arroyo San Roque al río

Sabinal (3), Villa Crisol (5) y Cruz Ancha (11), quedaron en la clasificación de contaminado; los sitios Camino al Zapote (9), Paso burro (13), Cuchumbac (14), Puente Club Campestre (7), Arroyo San Agustín (8), Arroyo Cerro hueco (10) y Arroyo San Roque (12) fueron clasificados como poco contaminados. Sin embargo, los dos últimos sitios están cerca del límite de aceptable.



**Figura 5. Variación espacial del Índice de Calidad del Agua en El Río Sabinal y el sitio 14, externo a la subcuenca**

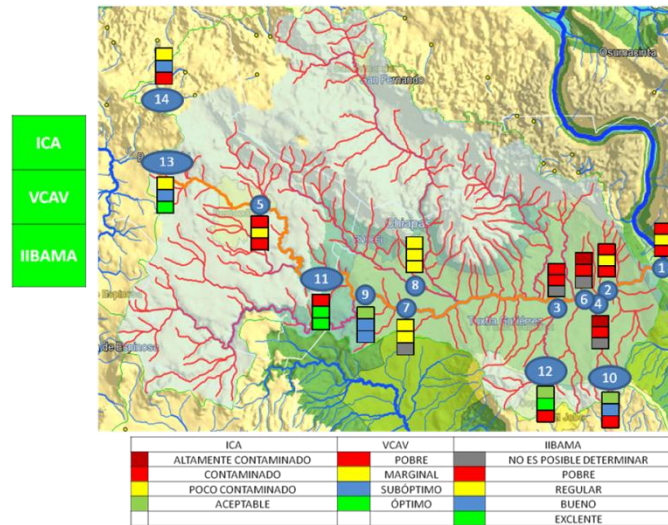
La calidad del agua muestra que los sitios con mayor perturbación se encuentran en las estaciones aguas abajo de núcleos urbanos, en la parte media de la cuenca, disminuyendo esta situación aguas arriba, donde disminuyen los núcleos urbanos y por consiguiente el nivel de descarga de aguas residuales.

Los valores del índice de integridad biótica basado en macroinvertebrados, en conjunto con la calidad visual del río y la calidad del agua permitió agrupar a los sitios en cuatro categorías de degradación ambiental:

- I. Los sitios donde las tres mediciones tienen valores bajos, que denotan la mayor degradación ambiental. “Salida al Grijalva”, “Villa Crisol” y Cerro Guadalupe”.
- II. Sitios de baja degradación ambiental, con agua contaminada e integridad buena: “Cuchumbac” y “San Agustín”.
- III. Sitios de alta calidad del agua, con alta Calidad Ambiental e Integridad Biótica pobre: “Cerro Hueco” y “San Roque”.
- IV. Sitios donde, la alta Calidad Ambiental y la poca contaminación de agua han permitido conservar los procesos de autodepuración y en consecuencia aún son íntegros: “Camino al Zapote”, “Paso Burro” y “Cruz Ancha”.

El gradiente de degradación encontrado y los estudios geomorfológicos, permitieron integrar la información para definir la estabilidad del río Sabinal, En la figura 6, se utilizan semáforos que

permiten priorizar (tres en verde) la conservación de los sitios en la cuenca del río “El Sabinal”. El extremo lo representan aquellos sitios con todas las variables en color rojo, donde los cauces han perdido su capacidad de resiliencia, y deben ser atendidos para su restauración total.



**Figura. 6.** Prioridad para la conservación de los sitios con base en el Índice de Calidad del Agua (ICA), la Valoración de Calidad Ambiental (VCAV) y el Índice de Integridad Biótica (IIBAMA).

## LAS VOCES DE LOS ACTORES Y LOS PROYECTOS ESTRATÉGICOS 1

Los planes de manejo integrado de cuencas deben contar con un carácter conjunto (FAO, 2007) donde la participación de los distintos grupos de interés expresan, negocian y promueven nuevas pautas para la conservación de la estructura y función de la cuenca como medida de mantenimiento del capital natural. La participación en la construcción del plan en el caso de la subcuenca del Río El Sabinal, se estableció desde una convocatoria inicial facilitada al grupo técnico de elaboración, desde la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas y con una amplia y decidida colaboración del Comité de Cuenca del Río Sabinal. Como parte de este esfuerzo conjunto, se organizaron tres talleres sectoriales, con la intención de discutir con cada uno de ellos, la situación actual de la subcuenca, su problemática y posibles alternativas de solución con una visión desde sus organizaciones. Esto se complementó con el intercambio de información entre los estudios, proyectos e ideas desarrolladas por cada sector con los estudios de los integrantes del grupo técnico.

El Taller Final con representantes de organizaciones de la sociedad civil, dependencias del sector público y académicos, permitió la discusión de los temas focales que representan los principales problemas de la subcuenca y sus posibles causas. Posteriormente se discutió una propuesta integrada de imagen objetivo (visión) de la subcuenca, ello permitió el planteamiento de objetivos concretos para su solución de los problemas: (1) Recuperar la estructura y función de la subcuenca a los valores de escurrimiento del agua y cobertura vegetal de los años 90-95; (2) Promover una



identidad local basada en el conocimiento y la conservación del capital natural de la subcuenca como eje del desarrollo social y económico; y (3) Estimular la participación conjunta y organizada de los habitantes de la subcuenca y los grupos de interés en su territorio, para armonizar los proyectos de desarrollo con la conservación de la subcuenca mediante un enfoque de atención-intervención basado en microcuencas. De manera conclusiva, los proyectos estratégicos para lograr estos objetivos de manejo para la cuenca del río Sabinal fueron:

Proyecto 1. Creación de un sistema de pago por servicios ecosistémicos y agropecuarios

Proyecto 2: Programa de ecovivienda rural y periurbana

Proyecto 3: Desarrollo de micronegocios con recursos naturales de la región

Proyecto 4: Establecer el premio regional al mejor manejo de la cuenca a nivel local

Proyecto 5: Programa maestro para el control de inundaciones

**Proyecto 6: Programa Maestro de Saneamiento del río Sabinal**

Proyecto 7: Programa para la rehabilitación hidrológico-ambiental de la subcuenca

Proyecto 8: Fortalecimiento del Comité de Cuenca del Río Sabinal

Proyecto 9: Instrumentación efectiva de los planes de manejo territorial (OET, PDU Y ANP)

Proyecto 10. Diversificación productiva de la parte media y alta de la subcuenca

Proyecto 11. Manejo ganadero sustentable en la parte alta y media de la subcuenca

Proyecto 12. Evaluación, seguimiento y monitoreo del manejo y gestión de la subcuenca

Los proyectos responden a establecer pautas de sustentabilidad en cada una de las zonas funcionales de la subcuenca, basando se en un enfoque de atención centrado en el desarrollo local de las microcuencas.

En conclusión, la subcuenca del Río Sabinal está en un grado importante y crítico de degradación que en este momento y los próximos 5 años será posible revertir estableciendo relaciones más equitativas entre las zona rural y urbana, atendiendo a conservar la funcionalidad de sus zonas de cabecera y transición (cuenca alta y media) y atendiendo a los procesos de saneamiento del cauce en la parte baja. Es realmente una última oportunidad para esta generación de rescatar su río y promover procesos de sustentabilidad en toda la subcuenca respetando su alto patrimonio natural

**AGRADECIMIENTOS**

Este proyecto se pudo desarrollar gracias al apoyo de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, la Universidad Autónoma de Chiapas, el Comité de Cuenca del Río Sabinal y la Fundación Gonzalo Río Arronte.

## REFERENCIAS

- Bocco, G., M. Mendoza y O. Maser. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas* **44**:18-38.
- Castañón y Abraján, 2009. Análisis de calidad de agua superficial del río Sabinal, Tuxtla Gutiérrez. *Lacandonia* **3** (2): 67-78.
- CONAGUA, 2010. **PLAN DE MANEJO DEL LA CUENCA DEL RÍO SABINAL**. CONAGUA, México.
- Cotler, H., E. Sotelo, J. Domínguez, M. Zorrilla, S. Cortina y L. Quiñones. 2007. La conservación de suelos: un asunto de interés público. Instituto Nacional de Ecología. *Gaceta Ecológica*. **83**:71p.
- Culebro, R., Culebro, M., Astudillo, E., Culebro, C. y J. Chanona. 2008. **Una mirada a San Antonio Bombanó: lugar donde brota el agua**. Consejo ESTATAL DE LA Cultura y las Artes en Chiapas, México: 62 pp.
- Espinoza-Jiménez, J. Pérez-Farrera, A. y R. Martínez Camilo. 2011. Inventario Florístico del Parque Nacional Cañón del Sumidero, Chiapas, México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* **89**: 37-82 (2011)
- FAO 2007. **La nueva generación de proyectos y programas de gestión integrada de cuencas**. ONU-FAO, Roma: 150 pp.
- Fernández Moreno, Y. 2010. **Percepciones ambientales sobre una reserva ecológica urbana El Zapotal Tuxtla Gutiérrez, México**. Tesis de Doctorado, El Colegio de la Frontera Sur, México: 173 pp.
- Gómez-Castro, H., Tawolde, A. y J. Nahed Toral. 2002. Análisis de los sistemas ganaderos de doble propósito en el centro de Chiapas, México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* **10**(3):175-183
- Gómez-Castro, H., J. Nahed Toral, A. Tawolde, Pinto Ruiz, M y J. López Martínez 2006. Áreas con potencial para el establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas. *Técnica Pecuaria en México*. **44**(2): 219-230.
- Gordillo Ruiz, M., Santos Estévez, J. y F. Esquinca Cano, 2011. **Estrategia para la restauración hidrológico-ambiental de la cuenca del Río Sabinal**. Gobierno del estado de Chiapas, México.
- Molina Martínez, A. y J.L. León Cortés. 2006. Movilidad y Especialización ecológica como variables que afectan la abundancia y distribución de lepidópteros papilionidos en el Sumidero, Chiapas. México. *Acta Zoológica Mexicana*, **10** (3):29-52.
- Ortiz Rodríguez, E. 2011. **Estructura y composición florística del bosque mesófilo de montaña de San Fernando, Tuxtla Gutiérrez, México**. Tesis de Licenciatura, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México. 109 pp.
- Penagos, F. 2007. **Impacto de las políticas ambientales y zonificación de los procesos de deterioro en la subcuenca del Río Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas**. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chiapas, México.
- Riechers Pérez, A., 2007. **Mamíferos silvestres en tres agroecosistemas del Oeste del cañón del Sumidero, Chiapas**. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del estado de Chiapas. 145 pp.
- Rocha, A. 2010. **Determinantes ambientales de la diversidad arbórea en la depresión central de Chiapas**. Tesis de maestría, Colegio de la Frontera Sur, México: 59 pp
- SEMAVI, 2009. **PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO SABINAL**. Gobierno del Estado de Chiapas, Mézico
- Velázquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz- Gallegos, R. Mayorga- Saucedo., P.C. Alcántara., R. Castro., T. Fernández.,
- G. Bocco., E. Ezcurra y J.L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*. **62**: 21-37.

# INCORPORACIÓN DEL ENFOQUE DE CUENCAS EN LOS ORDENAMIENTOS ECOLÓGICOS REGIONALES

Verónica BUNGE<sup>a</sup>, Helena COTLER<sup>b</sup>, Daniel Iura GONZÁLEZ<sup>c</sup>, Carlos ENRÍQUEZ<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México, DF. Email:

[vbunge@ine.gob.mx](mailto:vbunge@ine.gob.mx)

<sup>b, c, d</sup> INECC, México, DF

## RESUMEN

Los ordenamientos ecológicos (OE) se incorporaron en la política ambiental nacional en 1988. Desde entonces, ha sido muy pobre la evaluación de estos instrumentos y probablemente, también haya sido modesto su impacto.

Una de las razones por las cuales la evaluación de estos instrumentos ha quedado rezagada es la dificultad de identificar indicadores capaces de reflejar, a corto plazo, la funcionalidad y estructura ecológica del territorio, la apropiación que la población tiene del instrumento y la coordinación interinstitucional que se ha logrado. La tarea de buscar indicadores para medir el impacto de los ordenamientos ecológicos a nivel espacial, requiere de un buen conocimiento del funcionamiento integral de un territorio y de los problemas que lo aquejan. Para ello, el enfoque del manejo integral de cuencas se presenta como una herramienta muy interesante.

El enfoque señalado permite abordar un problema de manera sistémica. Reconoce la interrelación natural entre los distintos recursos y enfatiza la necesidad de procurar su gestión de forma integral en vez de hacerlo de manera fragmentada. En una cuenca, todas las actividades relacionadas con atributos espaciales se reflejan en la cantidad y calidad de agua de dicha cuenca. Por eso, este enfoque facilita el monitoreo de los impactos que tienen las actividades en un territorio, permite priorizar zonas de trabajo y aumenta la coherencia de las acciones para resolver problemas (Cotler y Caire, 2009).

En este trabajo proponemos un marco metodológico para elaborar un modelo de ordenamiento ecológico partiendo de uno de los principios que rigen al manejo integral de cuencas: la identificación de los problemas del territorio. Se discute acerca de cómo la identificación de los problemas de un territorio lleva al reconocimiento de los actores involucrados en el problema, a la identificación de las causas de dichos problemas y a la determinación de indicadores para evaluar si los problemas se logran mitigar. Mientras que los indicadores deberán ser congruentes con los problemas, los problemas deberán serlo con las unidades de análisis y gestión del territorio.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los ordenamientos ecológicos (OE) se incorporaron en la política ambiental nacional en 1988. Desde entonces, los procesos de construcción del modelo de ordenamiento ecológico para una región, municipio o comunidad, así como la implementación e impacto de este instrumento, ha sido sumamente diverso. Esto responde por un lado, a que se trata de un instrumento relativamente nuevo, que ha estado sujeto a una evolución conceptual importante y no siempre consensuada. Quienes lo impulsan, en ocasiones difieren no sólo en el aspecto metodológico que debiera seguir la construcción del modelo, sino también en el propio alcance que éste debiera perseguir. Por otro

lado, las distintas capacidades técnicas de consultores y funcionarios públicos que facilitan, acompañan y evalúan este instrumento también ha sido un factor relevante de la diversidad de implementaciones e impactos de los OE.

En agosto del año 2003 se publicó el reglamento de la LGEEPA en materia de ordenamiento ecológico. En éste se plantean los puntos que debe contener el documento técnico del ordenamiento ecológico. En el Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico, publicado en el año 2006, se exponen algunos métodos y técnicas para llevar a cabo este proceso, sin pretender ser ni exhaustivo ni rígido, ya que se reconoce que “[los métodos y técnicas] son abundantes y deben ser elegidas de acuerdo a las características específicas del área de estudio y de la experiencia del consultor que elabora el estudio técnico” (Arriaga y Córdova-Vázquez, 2006:16).

En este trabajo también reconocemos la necesidad de adecuar los métodos y técnicas utilizadas en el proceso de ordenamiento ecológico en función de las características biofísicas y socioeconómicas de la región de la cual se esté hablando. Sin embargo, creemos necesario enfatizar algunos aspectos metodológicos que podrían ayudar a mejorar la eficiencia de este instrumento de planeación ambiental.

En especial, consideramos importante que cualquier instrumento de planeación ambiental entienda al territorio de manera integral, y no fragmentada. Para ello es necesario adoptar un enfoque sistémico en donde se examinen todos los elementos que inciden en el uso del territorio y los mecanismos que los conectan. En este sentido, el enfoque del manejo integral de cuencas se presenta como una herramienta muy interesante, porque reconoce la interrelación natural entre los distintos recursos y enfatiza la necesidad de procurar su gestión de forma integral.

En la mayoría de los ordenamientos ecológicos actuales, el instrumento de planeación no logra vincular las causas de los problemas con sus efectos, así como tampoco es un instrumento que se adapte o promueva la adaptación de la población a los cambios que se suscitan en el entorno. Las principales razones de que esto ocurra son la omisión del planteamiento de los problemas de la región con los actores involucrados, la ausencia de una evaluación territorial del instrumento y la falta de un enfoque integrador. Estos tres aspectos se abordan en este trabajo a partir de la revisión de los documentos técnicos de 9 ordenamientos: el de la Cuenca del Río Bobos, Veracruz, el de la Cuenca del Lago Cuitzeo, Michoacán, el de Laguna de Cuyutlán, Colima, el de la Cuenca de Tuxpan, parte de Hidalgo, el de la costa de Yucatán, el del estado de Tabasco, el del municipio de Pijijiapan, Chiapas, el de la Subcuenca del Río Lagartero, Chiapas y el del municipio de Cuetzalan, Puebla. Todos ellos tienen en común que fueron decretados después de la aparición del Reglamento de Ordenamiento Ecológico, y que su unidad de análisis es una cuenca o se encuentra en la costa, donde el enfoque de cuencas puede ser pertinente.

## **2 PERTINENCIA DEL ENFOQUE DE CUENCAS EN LOS ORDENAMIENTOS ECOLÓGICOS**

El enfoque de cuencas en la planeación territorial permite abordar un problema de manera sistémica. Reconoce la interrelación natural entre los distintos recursos y enfatiza la necesidad de

procurar su gestión de forma integral en vez de hacerlo de manera fragmentada. En una cuenca, todas las actividades relacionadas con atributos espaciales se reflejan en la cantidad y calidad de agua. El agua transporta o deja de transportar los elementos que se generan por las actividades productivas, por la forma de apropiación del territorio o por acciones explícitas de conservación. Con ello, este enfoque facilita el monitoreo de los impactos que tienen las actividades en un territorio, permite priorizar zonas de trabajo y aumenta la coherencia de las acciones para resolver problemas (Cotler y Caire, 2009).

A partir del año 1999, algunos ordenamientos ecológicos empezaron a hacerse tomando como unidad de análisis a una cuenca o subcuenca. Desde entonces, y hasta el año 2012, se han decretado 12 ordenamientos con esta delimitación (14%), de los cuales, 9 son regionales y 3 son locales. Salvo pocas excepciones, estos ordenamientos se olvidan de relacionar las externalidades de las actividades en función de su ubicación en la cuenca.

Uno de los problemas que presenta el ordenamiento ecológico es su falta de injerencia en zonas que quedan fuera de la demarcación del ordenamiento, pero que tienen una clara influencia sobre la integridad del territorio que se está analizando (DGPAIRS, com. pers.). Comúnmente, se trata de conflictos por contaminación o retención de agua. Los municipios que se encuentran en la parte baja de una cuenca reciben agua de cuenca arriba, y cuenca arriba puede estar manejada por otro municipio o demarcación política administrativa. La gestión del recurso que estas otras demarcaciones hagan puede deteriorar la calidad de agua que le llega al municipio en cuestión o puede, mediante una presa por ejemplo, disminuir el caudal natural que normalmente se aportaba. En estos casos, el ordenamiento ecológico queda incapacitado para resolver el conflicto.

La visión regional de un ordenamiento ecológico frecuentemente se pierde en los ordenamientos locales. A cambio, en estos últimos se gana en lo que a la fuerza regulatoria se refiere, ya que es el municipio quien tiene la atribución de la regulación del uso del suelo. La posibilidad de mantener tanto la visión regional como la fuerza regulatoria en un mismo ordenamiento se da en los casos en que un municipio abarca toda una cuenca, por ejemplo, los municipios de la península de Baja California e islas pequeñas.

La adopción del enfoque de cuencas en los ordenamientos ecológicos es factible en la mayoría de los casos, porque una problemática recurrente de los territorios es la que tienen que ver con la cantidad y calidad del agua superficial. En regiones planas y cársticas, como la península de Yucatán, donde el agua de consumo para las actividades humanas proviene del subsuelo, el enfoque de cuencas podría ser irrelevante. Sin embargo, incluso en esos lugares, la visión integradora que brinda este enfoque resulta interesante para un ejercicio de planeación.

### **3 REVALORACIÓN DE LA AGENDA AMBIENTAL**

Los lineamientos que orientan el desarrollo de un ordenamiento ecológico desde el ámbito gubernamental se encuentran, en el sentido legal, en el Reglamento de Ordenamiento Ecológico (ROE), y en el plano de las sugerencias, en el Manual de Ordenamiento Ecológico (MOE).

Oficialmente, a la determinación de los conflictos ambientales que el ordenamiento ecológico debe resolver se la conoce como “Agenda Ambiental”. En el ROE, “la identificación de los conflictos ambientales que deberán prevenir o resolverse mediante la determinación de lineamientos y estrategias ecológicas” se encuentra en los anexos de los convenios de coordinación (Art. 9 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Ordenamiento Ecológico), y, de acuerdo al MOE, este debe construirse a partir de la “compilación de información técnica y científica de la región” (Manual de Ordenamiento Ecológico, 2006:14).

El enfoque que proponemos en este trabajo se centra y parte justamente de la construcción de esta agenda ambiental. Si bien, tanto el ROE como el MOE parecen compartir también esta visión, en la realidad esta etapa es poco trabajada al grado que, en la revisión de 9 ordenamientos decretados después de 2003, sólo en uno de ellos se construye una agenda ambiental al inicio del proceso de ordenamiento. Una posible explicación a esta ausencia es que, en los términos de referencia anteriores al año 2010, no aparece entre los productos solicitados la construcción de dicha agenda. Es a partir de ese año, que los términos de referencia demandan la elaboración de la agenda ambiental con “la lista priorizada y descripción de los problemas ambientales e interacciones sectoriales identificadas” (Términos de Referencia para la Formulación de Ordenamiento Ecológico, 2010). La ausencia de este producto incluso en ordenamientos decretados después del 2010, puede deberse a que éstos se realizaron con términos de referencia muy anteriores a este año.

El hecho que la identificación de los conflictos ambientales a resolver ya esté claramente solicitado en los términos de referencia constituye un gran avance en materia de planeación. Sin embargo, en los términos de referencia vigentes se señala que la agenda ambiental deberá “establecerse en coordinación con el Comité de Ordenamiento Ecológico al inicio de la fase de Caracterización,…” (Términos de referencia para la formulación de ordenamiento ecológico de 2010:4). Nuestra propuesta consiste en identificar los problemas o conflictos ambientales de la región antes de la firma del convenio de coordinación para posteriormente involucrar a las autoridades adecuadas. La agenda ambiental de un municipio o estado debería constituir la etapa previa al ordenamiento ecológico, e incluso, las autoridades ambientales deberían priorizar los apoyos económicos al ordenamiento ecológico en función de la existencia de dicha agenda donde se plasmaría la delimitación espacial de las causas y consecuencias de los problemas de una región dada. La elaboración de la agenda ambiental debería hacerse lo más plural posible, tomando en cuenta a un gran número de actores de manera que sean estos actores los que vean la necesidad y pertinencia de un ordenamiento ecológico para resolver algunos de sus problemas. Con esto, se evitaría comenzar procesos de ordenación en lugares donde la población, e incluso las autoridades locales, están reticentes a participar y a cumplir con los lineamientos que el instrumento de planeación propone.

Un ejemplo de agenda ambiental construida de manera participativa se observa en el Ordenamiento Ecológico del Municipio de Cuetzalan, para la cual participaron más de 900 ciudadanos. Hoy en día, dicho ordenamiento es un ejemplo de instrumento totalmente apropiado por la población, aunque ello no implique que sea ejemplo de efectividad.

Las experiencias de manejo de cuencas también dan cuenta de esta apropiación del instrumento cuando la población participa en la identificación de la problemática de su territorio (Cotler y Caire, 2009). Tal es el caso de la cuenca Ayuquila-Armería, donde para resolver un problema de contaminación de agua por desagües de un ingenio azucarero y por residuos sólidos, se creó una

junta intermunicipal entre los 10 municipios más afectados de la cuenca. El impacto que la contaminación tenía en las actividades pesqueras y agrícolas de la población, generó esta organización, totalmente comprometida y con capacidad de acción colectiva para la resolución del conflicto (Graf *et al.* 2006). Éste es uno de tantos casos en que queda de manifiesto la posibilidad de lograr consensos entre municipios y que los límites políticos administrativos pueden ser superados en aras de una planeación territorial coherente con las causas y consecuencias de los problemas que aquejan al territorio.

Sin embargo, el hecho de asegurar la participación no asegura la eficacia en el cumplimiento de normas que mejoren el estado del entorno. Diversos estudios concuerdan en que, si bien la vigilancia comunitaria en el cumplimiento de normas es un aspecto fundamental, no es suficiente cuando las instituciones carecen de mecanismos que sancionen su incumplimiento (Ostrom, 2000).

En el siguiente apartado se aborda la necesidad de construir indicadores ambientales para evaluar y monitorear a los OE.

#### **4 IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES AL INICIO DEL PROCESO**

A partir del año 2000, la SEMARNAT incorporó la presencia de ordenamientos ecológicos entre sus indicadores de respuesta del desempeño ambiental (SEMARNAT, 2000). Sin embargo, dada la falta de evaluaciones acerca del funcionamiento de los ordenamientos, este indicador se percibe débil.

En el año 2003, con la publicación del Reglamento de Ordenamiento Ecológico, quedó establecida la necesidad de construir indicadores ambientales como parte de los productos de un proceso de ordenamiento. Particularmente, en el ROE se sugiere definirlos al momento de construir la bitácora ambiental, es decir, durante todo el proceso de OE. A diez años de la publicación del ROE, y con más de 100 ordenamientos publicados desde entonces, son pocos los que tienen una bitácora ambiental y más aún, los que cuentan en esa bitácora, con indicadores ambientales capaces de reflejar los cambios en la funcionalidad ecológica del territorio como consecuencia de la existencia de un ordenamiento ecológico. En general, en los ordenamientos actuales no se evalúa el impacto que tiene el instrumento en el mejoramiento o conservación del territorio, ni en el grado de apropiación social que ésta ha alcanzado. A lo que más se llega, es a evaluar la coordinación interinstitucional a través de los acuerdos cumplidos que se plasman en las minutas de cada reunión.

Independientemente de las causas que han llevado a la falta de generación de indicadores para evaluar este instrumento de planeación, nuestra propuesta se centra en que no sólo éstos deben existir, sino que deben construirse al inicio del proceso de ordenación para dar coherencia a la relación entre la agenda ambiental, es decir, los problemas del territorio, y los lineamientos y estrategias ecológicas propuestas. En general, los indicadores que se utilizan para monitorear a los OE no dan cuenta de la eficiencia del instrumento en términos territoriales, ya sea porque no se especifica en dónde deben ser medidos, o porque no pueden registrar cambios en la escala temporal en que se los evalúa. En otros casos, los indicadores no indican nada relevante para el ordenamiento.

En la tabla 1 se muestran algunos ejemplos de indicadores ambientales reportados por bitácoras ambientales en los que no sólo resalta la ausencia del registro de un valor óptimo del indicador, sino su relación con la resolución de un problema.

Tabla 1. Ejemplo de indicadores ambientales reportados en bitácoras ambientales

<b>Indicadores</b>	<b>Línea estratégica</b>
PIB <i>per cápita</i>	Eficiencia económica en el uso sustentable de los recursos
Volumen de captura en las rías y esteros de las principales pesquerías	Mantener la productividad y biodiversidad en los humedales
Ingreso pesquero	Reducir la presión sobre el recurso
Tasa de crecimiento de la PEA ocupada por sector	Empleo y presión sobre los recursos

El PIB *per cápita*, por ejemplo, carece de sentido para dar cuenta de una eficiencia económica en el uso sustentable de los recursos, ya que justamente, el PIB no considera costos asociados a la degradación y agotamiento de los recursos naturales. Los otros tres indicadores que aparecen en esa misma tabla, podrían tener pertinencia siempre y cuando se realizara un estudio de capacidad de carga que pudiera dar el valor óptimo para reducir la presión sobre el recurso.

Los indicadores ambientales de un ordenamiento ecológico tienen que poderse medir de manera práctica y económica, deben ser sensibles a las perturbaciones o mejoras a corto plazo y deben reflejar la pertinencia o incoherencia de los lineamientos y estrategias ecológicas de cada unidad de gestión ambiental. Definirlos en un inicio orientará el diagnóstico, permitiendo tener una línea base del territorio a ordenar, y guiará también la determinación de lineamientos y estrategias que resolverán los conflictos ambientales.

## 5 CONCLUSIONES

A diez años de la publicación del reglamento en materia de ordenamiento ecológico, se hace imprescindible abrir foros para la discusión y mejoramiento de este instrumento. El trabajo recién presentado pone sobre la mesa sólo algunos aspectos que habría que mejorar del proceso de ordenamiento ecológico: la necesidad de reconocer los problemas que tiene el territorio, espacializarlos, crear indicadores que reflejen el cambio en el estado del territorio, y concebir al territorio de manera sistémica, donde el enfoque de cuencas resulta revelador. El resto del proceso de ordenación, desde la caracterización hasta la propuesta del modelo, se ajustaría a los problemas e indicadores para no perder de vista, en ningún momento, el objetivo y alcances del instrumento. En la tabla 2 se muestra el resumen de la propuesta.

La falta de correlación entre los problemas del territorio y los lineamientos y estrategias que se proponen podría ser enmendada con algunas de las propuestas hechas hasta ahora. La falta de entendimiento acerca de la visión integradora del territorio puede ser mucho más compleja y complicada. Resta unir esfuerzos para discutir, entre otras cosas, acerca de cómo analizar al territorio, cómo *distribuirlo* entre los distintos actores, cómo vincular espacialmente a las unidades



de gestión ambiental con los procesos territoriales o cómo prever los efectos acumulativos. Sin duda el congreso será un buen punto de inicio.

Tabla 2. Resumen de la propuesta de la incorporación del enfoque de cuenca en los ordenamientos ecológicos

<b>Ordenamiento Ecológico Actualmente</b>	<b>Ordenamiento Ecológico Propuesta</b>
<p>La agenda ambiental es parte del anexo del Convenio de Coordinación. A partir de 2010, los términos de referencia solicitan esta agenda como un producto anterior a la caracterización.</p>	<p>La Agenda Ambiental debería ser un prerequisite para el apoyo a Ordenamientos Ecológicos. Debería ser planteada con los actores involucrados en los problemas, y antes de la firma del Convenio de Coordinación. Esto con dos objetivos: 1) promover que los actores se apropien de los problemas del territorio, y que perciban al ordenamiento como un instrumento capaz de resolver ciertos problemas, y 2) involucrar en la firma del convenio a las autoridades pertinentes.</p>
<p>Los indicadores ambientales se plasman en la bitácora ambiental. Durante el proceso de OE, la bitácora sólo reporta las minutas de las reuniones que se celebran. Los indicadores se determinan al final del proceso y en la mayoría de los casos, no son capaces de monitorear el cumplimiento de un lineamiento o estrategia ecológica, ni tampoco de evaluar el impacto territorial que tiene el ordenamiento.</p>	<p>Los indicadores ambientales deberían plantearse antes de la fase de diagnóstico, para que en esta fase del ordenamiento se determine la “línea base” del territorio. Los indicadores deberán ser capaces de evaluar el cumplimiento y pertinencia de los lineamientos y estrategias, así como reflejar cambios en la funcionalidad del territorio.</p>
<p>El territorio se concibe de manera sectorial, fragmentada. La relación entre UGA es inexistente.</p>	<p>El territorio se debería concebir como un sistema, de forma integral, en donde se reconozca espacialmente a los causantes y afectados de los problemas, así como a los responsables de las soluciones.</p>

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las discusiones que sostuvimos con todo el equipo de la Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial (DGPAIRS) de la SEMARNAT, y con Fernando Rosete, entonces afiliado al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

## REFERENCIAS

Cotler, H. y Caire, G. 2009. *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. Instituto Nacional de Ecología. México. 380 p.

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico. Publicado el 8 de agosto de 2003. Última reforma publicada DOF 28-09-2010. [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGEEPA\\_MOE.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_MOE.pdf)

Arriaga, V. y Córdova y Vázquez, A. 2006. *Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico*. Instituto Nacional de Ecología, México. 336 p.

SEMARNAT. 2010. Términos de Referencia para la Formulación de los Programas de Ordenamiento Ecológico Regional. [http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20ordenamiento/terminos\\_referencia\\_2010/terminos\\_referencia\\_regionales\\_19\\_03\\_10.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20ordenamiento/terminos_referencia_2010/terminos_referencia_regionales_19_03_10.pdf)

SEMARNAT. 2010. Términos de Referencia para la Formulación de los Programas de Ordenamiento Ecológico Local. [http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20ordenamiento/terminos\\_referencia\\_2010/terminos\\_referencia\\_locales\\_19\\_03\\_10.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20ordenamiento/terminos_referencia_2010/terminos_referencia_locales_19_03_10.pdf)

Graf M.S., Santana C., Martínez R.L., García R.S., Llamas J.J. 2006. Collaborative governance for sustainable water resource management: the experience of the inter-municipal initiative for the integrated management of the Ayuquila River Basin, Mexico. *Environment & Urbanization*. Vol. 18. Number 2. 297-313 pp.

Ostrom, E. 2000. El Gobierno de los Bienes Comunes. La Evolución de las Instituciones de Acción Colectiva. Fondo de Cultura Económica. México. Última edición 2011. 433 pp.

SEMARNAT. *Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental*. México. 2000.

Documentos técnicos de los siguientes ordenamientos:

Ordenamiento Ecológico de la Cuenca del Río Bobos, Veracruz  
Ordenamiento Ecológico de la Cuenca del Lago Cuitzeo, Michoacán  
Ordenamiento Ecológico de Laguna de Cuyutlán, Colima  
Ordenamiento Ecológico de la Cuenca de Tuxpan, parte de Hidalgo  
Ordenamiento Ecológico del Territorio Costero del Estado de Yucatán  
Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de Tabasco  
Ordenamiento Ecológico del Territorio de la Cuenca del Río Coapa, municipio de Pijijiapan, Chiapas  
Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca del Río Lagartero, Chiapas  
Ordenamiento Ecológico Territorial de Cuetzalan, Puebla

# **EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO UNA POLÍTICA PÚBLICA PARA RECUPERAR LA INTEGRALIDAD DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS: EXPERIENCIAS EN LA REGIÓN CIÉNEGA DE CHAPALA, JALISCO**

Luis Gabriel TORRES GONZÁLEZ, Ofelia PÉREZ PEÑA y Armando CHÁVEZ  
HERNÁNDEZ

CIESAS Occidente- Universidad de Guadalajara CUCBA y CUCSH

## **RESUMEN**

Experiencias recientes en el trabajo de ordenamiento ecológico local que incluyen el diseño e implementación de las cuatro fases clave (Caracterización con agenda Ambiental, Diagnóstico, Pronóstico y Propuesta o Modelo de Ordenamiento) realizadas en los municipios de Jocotepec, Tuxcueca, Chapala, Ixtlahuacán de los Membrillos, Poncitlán y Ocotlán en la región Ciénega del estado de Jalisco, sirven para visualizar la utilidad de este instrumento de planeación y conocer sus alcances como herramienta para entender las dinámicas de integración/desintegración en el caso de la cuenca Lerma Chapala Santiago y las microcuencas comprendidas entre los confines de la misma cuenca. Los estudios justificativos para estos ordenamientos ofrecen pautas para encontrar alternativas frente a los conflictos y problemas ambientales derivados de la sobreexplotación de los recursos hídricos y que están relacionadas con la incompatibilidad entre los distintos usos del suelo. Gracias al enfoque participativo de los ordenamientos se facilita la interacción de los distintos sectores y actores involucrados en los usos del suelo del territorio municipal, quienes pueden desarrollar sinergias hacia el mejoramiento de las condiciones de vida, la conservación de los recursos naturales y un respaldo a los mejores usos del suelo.

**Palabras claves:** ordenamiento ecológico, Integralidad de las cuencas hídricas, idoneidad territorial, participación ciudadana.

## **I. INTRODUCCIÓN: LA CRISIS AMBIENTAL DE LA CUENCA LERMA CHAPALA Y LA INICIATIVA INTERESTATAL**

La iniciativa de estos ordenamientos es convergente con el proceso de investigación que los autores de este trabajo venimos realizando desde hace 15 años en la Cuenca Lerma Chapala. Cabe recordar que la cuenca enfrenta severas condiciones de contaminación de sus aguas y distintos tipos de deterioro ambiental que han sido reconocidos oficialmente de distintas maneras. Pero ese reconocimiento no es lo más relevante. Nos ha tocado ser testigos de un hecho de mayor impacto: la orientación que se ha dado a la política pública para la restauración de esta cuenca, obedece al enfoque de la intervención desde lo federal a lo local, lo que significa mayor peso de la acción del gobierno federal sobre las iniciativas locales. Cabe recordar, que la condición socio-ambiental de esta cuenca es crucial para el desarrollo de México por la cantidad de agua que aporta para la producción agrícola e industrial, dado que representa un 20% del total del país, además de que un

15% de la población mexicana que vive en esas áreas depende de los recursos hídricos de la cuenca para su sobrevivencia cotidiana.

El problema no se reduce a falta de recursos, ni tampoco a la carencia de estudios, puesto que se han presentado dos planes maestros integrales de la cuenca y otros estudios globales, uno en cada sexenio. Asimismo, se han puesto en marcha planes en pro de la sustentabilidad que sirvieron para diseñar acciones y generar presupuestos, pero éstos predominantemente se usaron para derivar recursos hacia las instancias federales, sobre todo a la Comisión Nacional del Agua. Pero también se observa en forma recurrente, que gran parte de los propósitos de dichos planes no tienen continuidad y sólo se concretan en forma parcial.

Los resultados que han arrojado los diagnósticos acerca de las condiciones ambientales en que se encuentran diversas zonas de la cuenca, desarrollados desde los años noventa, (particularmente de los 6 municipios donde se plantearon estos ordenamientos) tal como se presentan en los dos atlas de la cuenca Lerma Chapala: el del Instituto Nacional de Ecología (INE) y el del Centro Geo Jorge L. Tamayo, son por demás críticos y se significan por las perspectivas de agotamiento de las reservas hídricas si es que se mantienen los consumos elevados y sigue el “desperdicio” del recurso hídrico, el cual podría constituir nuevos conos de abatimiento en varias zonas de recarga de los acuíferos de la cuenca (un caso muy drástico es el acuífero Ocotlán estudiado en el POEL), los cuales harían crisis hacia el año 2050, dadas las condiciones de sequía y su impacto previsto. Investigadores de la UNAM (Maderey R, Laura Elena y Arturo Jiménez R., 2000), del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), así como funcionarios de la misma SEMARNAT y de la Comisión Nacional del Agua reconocen ese pronóstico como un escenario viable. En realidad, los presupuestos que han sido cuantiosos se han significado por apoyar prioritariamente la construcción de grandes obras hidráulicas, sistemas de medición y control de aguas y últimamente plantas de tratamiento de aguas residuales, lo que tampoco ha representado una reducción significativa de la contaminación de los ríos como el Santiago, el Zula, el Lerma y el propio Lago de Chapala.

En el 2010, un grupo de investigadores entre los que se contaba la Dra. Ofelia Pérez Peña del Departamento de Ciencias Ambientales del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara (UDG), el Dr. Manuel Guzmán Arroyo (del Instituto de Limnología, del CUCBA-UDG), el Dr. Luis Gabriel Torres González del CIESAS Occidente junto con los Dres. Rodrigo Moncayo Estrada, del Centro Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo integral Regional (CIIDIR) del IPN Michoacán, la Dra. Adriana Sandoval Moreno, la Dra. Yolanda G. Nava Cruz de la Unidad Académica de Estudios regionales (UAER Michoacán de la coordinación de Humanidades de la UNAM), así como la Mtra. Isabel López Ribera de la Delegación SEMARNAT, Jalisco, planteó el plan interestatal para la sustentabilidad de la cuenca propia del Lago de Chapala.

Lo novedoso de esta propuesta, radica en el hecho de que se parte desde lo local para entender la problemática de la cuenca que se ha originado desde aguas arriba. En ese sentido, el plan interestatal enfatiza el trabajo que se debe hacer en casa para luego poder exigir a las otras partes que más aportan a la contaminación y el deterioro de la cuenca. Como estrategia de conservación y restauración ambiental para la cuenca se plantean en el plan interestatal cinco ejes: 1) Transformar la gestión institucional fortaleciendo la acción ambiental institucionalizada en 3 aspectos: a) agenda desde lo local, b) profesionalización de funcionarios públicos municipales dedicados a lo ambiental

y c) actualización de la normatividad ambiental. 2) conservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, propiciando la creación de áreas naturales protegidas que funcionen como anillo verde en torno al lago y los ríos, así como que hagan la función de corredores biológicos a los que se buscaría conectar con parques lineales; 3) Planeación de los usos del suelo del territorio aprovechando el instrumento de los ordenamientos ecológicos locales y regionales como instrumento para detener procesos de destrucción ambiental y ofrecer escenarios alternativos; 4) incrementar la cultura para la sustentabilidad local y el buen vivir mediante la formación de funcionarios, promotores y líderes ambientales ciudadanos y 5) la implementación de acciones significativas en 2 temas críticos: a) saneamiento de aguas residuales, b) manejo integral de residuos. Por diversas circunstancias relacionadas con la violencia y condiciones políticas que han imperado en el país, el plan interestatal no pudo operarse en Michoacán. Pero si se logró arrancar en Jalisco donde venía avanzando la iniciativa impulsada por la Asociación Intermunicipal para la Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala (AIPROMADES) que incluía a 16 municipios de diferentes partidos políticos (PRI-PAN y PRD).

Cabe señalar, que sin ser un proyecto originado desde la federación, el plan interestatal a través de la AIPROMADES logró vincular sinergias entre los representantes de los 3 niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) al mismo tiempo que con investigadores académicos, así como con ciudadanos y líderes ambientales que emergieron como promotores y beneficiarios de los proyectos e iniciativas surgidas en los 16 municipios que integran la AIPROMADES. A partir del 2010, y una vez que el Plan fue aprobado en el Congreso de la Unión, se iniciaron diversos proyectos planteados desde la perspectiva contemplada en el plan interestatal. En la línea del eje 1 se organizaron tres talleres para elaborar y/o replantear los reglamentos municipales de ecología y tres talleres para preparar las agendas desde lo local para funcionarios encargados de ecología y otras dependencias municipales. En relación al eje 2 se plantearon 2 iniciativas de área natural protegida (Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos y el Anillo Verde del Lago de Chapala que están en proceso de decretarse. Uniendo estas 2 áreas se crearían corredores biológicos en torno al Lago. También se construyeron parques lineales en 10 municipios. En el eje 3 se realizaron los trabajos y los estudios para los 6 ordenamientos ecológicos locales (tres entre 2010 y 2012 en los municipios de Jocotepec, Ixtlahuacán de los Membrillos y Ocotlán que ya están concluidos y en vías de decretarse) y 3 en proceso: Chapala, Poncitlán y Tuxcueca realizados en 2012 en los que se concluyó la fase de Caracterización (con agenda ambiental y la fase de Diagnóstico).

## **II.- ANTECEDENTES DEL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO EN MEXICO**

### **1) FILOSOFIA Y SURGIMIENTO DE LA IDEA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO**

Entre los fundamentos que dan origen al ordenamiento ecológico está la propuesta de la “conservation fundation” (Mc Harg:2000). Para este autor, el ordenamiento es un factor clave para lograr el desarrollo sustentable de un territorio dado. El criterio para el ordenamiento es organizar los usos del suelo a partir de la aptitud o idoneidad ecológica y en ese caso se busca apreciar el grado de armonía mayor o menor que existe entre los distintos usos del suelo, las posibilidades de planificación urbana y el mejor aprovechamiento productivo de sus distintas microrregiones. Esa

propuesta, se resumía en la frase “proyectar con la naturaleza” que se considera como el método menos costoso y el que ofrece más viabilidad a futuro.

El substrato de este enfoque del Ordenamiento Territorial, hay que ubicarlo en la revolución industrial surgida en Inglaterra, la cual trajo consigo la creación de distritos industriales y sus regiones internas o hinterlands. Por tratarse de territorios especializados, se establecieron usos del suelo acordes para favorecer la producción industrial. Lo más significativo, fue que esos territorios se convirtieron en zonas dominantes con sus propias delimitaciones (tipo coto) ya sea que éstas se incluyeran dentro o fuera de las ciudades. Se trataba de áreas que se adaptaban para cumplir con otros propósitos: recreación, dormitorios, áreas de trabajo, comercio y/o distribución y otros dónde se prestaban distintos servicios a la población que vivía en ese entorno. (Parrado Delgado:2001:118).

El Término OT, surge propiamente en Francia a partir de 1949, cuando el ministerio de reconstrucción y urbanismo, lo planteó como respuesta a la necesidad de reconstruir adecuadamente y organizar las ciudades que habían sido afectadas por los bombardeos durante la segunda guerra mundial (Parrado Delgado: 2001: 119). La idea de OT se asocia también con los trabajos de Le Corbusier y otros grandes urbanistas franceses. Pero, la institucionalización del OT se da hasta 1963 con la creación de una delegación general encargada del OT. En 1967, el parlamento francés genera la ley de orientación de vivienda y urbanismo que comprendía el esquema director de ordenamiento y urbanismo y el plan de ocupación de suelos (Parrado Delgado: ibid).

El planteamiento de Mc Harg está inmerso en las vivencias personales del autor quien “vivió toda su infancia y adolescencia entre dos entornos radicalmente opuestos: el entorno de los hombres y el de la naturaleza. La ciudad de Glasgow que estaba a 10 millas de su casa [la veía] como una ciudad orientada al trabajo duro... [pero también] como un monumento a la desordenada capacidad para crear fealdad, un despojo de arenisca aglutinado con humo y suciedad” (2000: 1). De hecho su ascendiente escocés “condiciona” su cosmovisión y privilegia su preferencia por el capital natural. De hecho, en su experiencia práctica ha buscado emprender procesos que privilegian esa perspectiva de la naturalidad en varias zonas de Estados Unidos<sup>1</sup>, donde promovió reorganizaciones del territorio valorando los distintos usos de la tierra y ofreciendo alternativas orientadas a preservar dentro y en los contornos de las ciudades, las áreas naturales. Su concepción se enfocaba a manejar integralmente el territorio y a considerar el rol de la naturaleza en la ciudad, de esa manera proponía la convergencia de ordenamiento y manejo ecológico (Mc Harg: 2000:55). Esa intención converge y da origen al OET con un sentido ético de integralidad que también se significa como ordenamiento ambiental territorial.

En este sentido, con la idea de ordenamiento ecológico se busca reflejar la condición de la naturaleza originaria, esto es la calidad del suelo, agua, aire, y la biodiversidad (flora y fauna). Desde entonces, esa propuesta se convirtió en un referente que pretendía evitar el crecimiento descontrolado del territorio urbano que tendía a seguirse desarrollando donde no existía una verdadera idoneidad territorial.

---

<sup>1</sup> Las más exitosas de esas intervenciones se ubican en Woodlands comunidad a las afueras de Houston y Medfords (Nueva Jersey) en las que se establecieron objetivos de calidad ambiental para el desarrollo futuro. (ver introducción a la edición española del libro “proyectar con la naturaleza” p.X)

## 2) LA “NOVEDAD” DE LA EXPERIENCIA MEXICANA Y SU ATRASO LEGAL RESPECTO A LA DINÁMICA GLOBAL.

En México la experiencia del ordenamiento ecológico territorial como política pública ha surgido con un retraso significativo respecto de lo que sucede en muchas partes del mundo. Fue hasta 1976, que se originaron las primeras experiencias que pretendían “ordenar un territorio a nivel estatal o municipal” conforme lo establecido en la Ley General de Asentamientos Humanos. Desde esa perspectiva, se empezaron a considerar aspectos ambientales en la planeación de los usos del suelo del territorio (SEMARNAT 2006). Sin embargo, es en 1982 con el lanzamiento de la Ley Federal de Protección al Ambiente, que se incluye por primera vez el concepto de Ordenamiento Ecológico como instrumento básico de la planeación ambiental.

De hecho, el OET como política global, se definía a fines de los años 70’s, como un requerimiento fundamental que los países debían implementar para controlar el uso de los recursos naturales y poder regular el crecimiento de los asentamientos humanos sin que se afectara la calidad de vida y la conservación de la naturaleza.

Con la Ley de Planeación de 1983, el gobierno mexicano amplió su perspectiva de planificación ambiental, instrumentando proyectos de Ordenamiento Ecológico del territorio en zonas y áreas prioritarias para el desarrollo nacional. El ordenamiento ecológico territorial, se generaliza como política pública en México a partir del año de 1988. Su lanzamiento con carácter de obligatorio, se establece con la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico (LGEEPA) SEMARNAT (2006).

De esa manera, se llegó a considerar cuatro tipos de ordenamiento ecológico territorial. 1) El **Ordenamiento Ecológico General del Territorio (OEGT)** que vincula las acciones y programas de la Administración Pública Federal que inciden en el patrón de ocupación del territorio.

2) **El Ordenamiento Ecológico Marino (OEM)** enfocado a preservar, restaurar, proteger y regular el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales existentes en áreas marinas, incluyendo las zonas federales adyacentes.

3) **El Ordenamiento Ecológico Regional (OER)** que tiene por objeto establecer la política de uso del suelo, en función del impacto ambiental que generan las actividades productivas en regiones consideradas prioritarias o estratégicas para el país. Los OER presentan dos submodalidades: De dos o más estados, esto es, cuando una región ecológica se ubica en el territorio de dos o más entidades federativas y puede incluir la totalidad o parte de un estado.

4) **El Ordenamiento Ecológico Local (OEL)** que se aplica en la totalidad o parte del territorio de un Municipio. El OEL tiene como objetivo determinar el diagnóstico de las condiciones ambientales y tecnológicas, además de regular los usos del suelo fuera de los centros de población.

Los ordenamientos municipales apenas se han realizado en unos 100 municipios decretados en el país.<sup>2</sup>

### 3) EL ENFOQUE DEL PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO LOCAL (POEL)

El ordenamiento ecológico local es el nivel más básico, pero también es el más relevante para el país y el tamaño de la demanda es tan grande como que México cuenta con más de 2,200 municipios. La relevancia del POEL estriba en el hecho de que ofrece pautas normativas para regular los usos del territorio, debido al mayor grado de acercamiento que se da en su estudio a diferencia de los ordenamientos estatales y regionales que se concretan a escala 1:250,000 y el nacional 1:2'000.000. El POEL se proyecta en la escala (1:50,000). Sin embargo, en la práctica con fines de lograr una mejor comprensión de los problemas ecológicos se hacen aproximaciones de menor escala, así como interrelaciones o sobreposiciones de partes del territorio orientadas a hacer mejores aproximaciones de las áreas en conflicto. El POEL pretende ofrecer un modelo y prospectiva de escenarios futuros orientado a reconocer los problemas ambientales de mayor complejidad y a encontrar diversas posibilidades de solución de dicha problemática.

Para implementar un POEL conforme está establecido en el manual de ordenamiento (SEMARNAT 2006) se desarrollan 4 etapas: (Caracterización (que incluye la agenda ambiental), Diagnóstico, Pronóstico y Propuesta o modelo de ordenamiento).

La fase de caracterización sirve para identificar las fortalezas, debilidades, continuidades y rompimientos del sistema socio ambiental. Además se hacen acercamientos para llegar al origen de los problemas ambientales que los habitantes del municipio bajo estudio que se identifican como más relevantes con una perspectiva histórica de hasta 20 años.

La fase de diagnóstico sirve para identificar y ponderar las aptitudes o mejorar las posibilidades del uso del suelo de cada zona y la idoneidad del territorio en su conjunto. Además, en esa fase se elabora el mapa de conflictos ambientales y se establecen indicaciones precisas sobre la competencia que hay entre los distintos sectores por el uso del suelo de las distintas áreas y entre distintos sectores. Por otra parte, se presenta un esquema que pueda aclarar vías de resolución de los conflictos ambientales (POEL Ocotlán Reporte final 2013).

En la fase de pronóstico se presentan los distintos escenarios a proyectar hacia los próximos 30 años. Se establecen los atributos ambientales y otros elementos que serán fundamentales para la sobrevivencia de los ecosistemas. De esa manera, se hace un recuento de los servicios ambientales efectivos que prestan los ecosistemas y el territorio y se ve la relación favorable que habrá que prever para la conservación de cada uno de ellos. En el caso del agua se considera su las

---

<sup>2</sup> Cabe señalar que hasta la fecha existe una dispersión de fuerzas y diversidad de criterios dado que existen al menos dos entidades del gobierno mexicano que oficialmente controlan y promueven los ordenamientos. Eso aparte de los gobiernos de los estados y municipales que tienen sus intereses y posturas que no siempre son convergentes respecto de un proceso de ordenamiento en vías de realizarse o en proceso. De hecho, hay que distinguir entre Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) que ha quedado bajo la tutela del programa hábitat y que inicialmente fue promovido por SEDESOL y que ahora ha pasado a las instancias de la SEDATU a partir de la reorganización de 2013 y Ordenamiento Ecológico Local (OEL) que opera bajo los auspicios de la SEMARNAT y las instancias de los gobiernos del estado.



posibilidades a futuro tanto en cantidad como calidad del recurso. Respecto de los suelos se estima su aptitud para los distintos usos y se prevén los impactos del cambio de usos de suelo. Respecto de la biodiversidad se identifican posibles amenazas y facilidades si se conservan o mejoran sus condiciones. Por otra parte se observan como puntos clave los aportes en la producción de alimentos derivados de los distintos usos: agricultura, ganadería y pesca, así como las posibilidades que se tienen de controlar y regular el aprovechamiento del agua, la biodiversidad, el clima, el control de plagas, la erosión del suelo, la prevención de fenómenos extraordinarios y desastres naturales, además de las áreas de conservación para la biodiversidad y otras de relevancia para los usos culturales del territorio (Balvanera y Cotler 2009). La proyección de los tres escenarios clave del ordenamiento que se incluyen en el pronóstico: tendencial, contextual y estratégico pretenden anticipar o imaginar las condiciones de transformación del territorio y ofrecen indicios hacia donde es posible mejorar el territorio y resolver los conflictos ambientales Pronóstico POEL Ocotlán 2013).

#### 4) EL MODELO DE ORDENAMIENTO COMO SÍNTESIS QUE CULMINA EL POEL

Las representaciones cartográficas de las distintas partes del POEL se constituyen en la base del modelo de ordenamiento que finalmente se plasma en un Sistema de Información Geográfico (SIG). El SIG es la herramienta que permite al usuario conocer y valorar la pertinencia de las políticas ambientales, de los lineamientos a seguir para el mejoramiento de cada zona, así como las estrategias, programas y criterios que se aplicarán para cada Unidad de Gestión Ambiental en la que se divide el territorio municipal. Una vez integradas a la propuesta en un mapa especial, dichas UGAS formarán parte del decreto que crea el POEL como política pública y tendrá carácter legal. De esa forma las estrategias, lineamientos y especificaciones de las UGA'S serán fundamentales para la planificación municipal a mediano y largo plazo. (Modelo de Ordenamiento POEL Ocotlán, Jocotepec e Ixtlahuacán de los Membrillos, 2013)

Dado que el territorio es complejo, no pueden tomarse las mismas consideraciones para cualquier punto del territorio como si éste fuera un conjunto homogéneo e indivisible. Como establecen los estudios de la caracterización, diagnóstico y pronóstico, hay zonas cuyo valor ambiental es mayor, dado que se han conservado y no han sufrido grandes fragmentaciones e impactos, por eso también tienen posibilidades de ser mejoradas a partir de acciones que refuercen su preservación; mientras que existen otras áreas cuyo nivel de deterioro es alto, de manera que si éste persiste, se puede llegar a una degradación definitivamente irreversible que aun se está a tiempo de evitar. Lo grave es que ese es un factor que puede repercutir directamente en una disminución de la calidad de vida de los habitantes de un municipio, dado que esas áreas dejarían de prestar servicios ambientales valiosos.

Por ello, la división del territorio en unidades de Gestión Ambiental que se concreta en la fase de propuesta tiene el objetivo pedagógico de distinguir cada parte del territorio por sus condiciones particulares, al mismo tiempo que busca subrayar las posibilidades de una menor degradación. En ese sentido, el objetivo práctico de una UGA es posibilitar la mejoría ambiental de cada área del territorio municipal, así como preservar las posibilidades de conectividad con otras áreas y ver por la integralidad del territorio municipal. Según el INE una UGA es la “unidad mínima territorial

donde se aplican tanto lineamientos como estrategias ambientales -de política territorial- aunado con esquemas de manejo de recursos naturales, es decir criterios o lineamientos finos del manejo de estos recursos, orientados a un desarrollo que transite hacia la sustentabilidad”. Este concepto tiene sus orígenes en la identificación de “unidades homogéneas” que compartan características naturales, sociales y productivas así como una problemática ambiental actual. Esto con la finalidad de orientar el territorio y sus usos productivos hacia una aplicación de la política territorial que busca mejorar esa porción del territorio, conservar sus recursos naturales y evitar conflictos ambientales. De hecho, el diseño de cada UGA se fundamenta en los resultados de las etapas de Caracterización, Diagnóstico y Pronóstico.

Al identificar los trazos de una UGA se busca potenciar la capacidad de brindar servicios ambientales de esa porción del territorio, así como hacer sustentables los distintos usos de los sectores económicos de la población. Se trata de delimitar los tipos de aprovechamiento que se pueden hacer dentro de cada UGA y de poder establecer pautas para la posible y necesaria restauración de otras áreas con la intención de mejorar el bienestar de todos los seres bióticos y abióticos que conviven dentro del territorio ocotlense. En la parte final de este documento se presenta el modelo de las fichas para cada UGA, donde se resumen los principales criterios, así como los elementos más relevantes que se vienen resaltando desde la caracterización y el diagnóstico.

La finalidad del modelo es contar con un sistema para el manejo del territorio municipal y que sirva para controlar los usos del suelo, al mismo tiempo que permita tener el mayor número de consensos entre los sectores. Para el ello el modelo ofrece pistas para resolver los conflictos ambientales y favorece la integración del municipio con todas las partes de su territorio y hacia la región y que además busca preservar la integralidad con toda la cuenca e integrar un sistema de áreas naturales protegidas que sirva para detener el deterioro y abrir posibilidades hacia el desarrollo sustentable de cada una de las UGA's establecidas en los distintos ordenamientos de los 6 ordenamientos promovidos. El modelo busca establecer líneas de congruencia entre las políticas y los usos del suelo predominantes, los lineamientos ecológicos, las estrategias y criterios de regulación ecológicos, de manera que esa congruencia quede reflejada en las fichas técnicas descriptivas de cada UGA.

El Modelo de Ordenamiento Ecológico Local (MOEL) se construye tomando en consideración otros instrumentos de planeación vigentes, como el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco, la propuesta de Proyecto de Declaratoria de Área Natural Protegida de Competencia Estatal relativa al Área Estatal de Protección Hidrológica “Cerro Viejo - Chupinaya - Los Sabinos” y la propuesta de Área Natural Protegida “Cinturón Verde” de la Ribera de Chapala, que actualmente se están gestionando. Por sí mismas estas propuestas pueden generar una inercia favorable hacia la integración territorial y la conservación de los recursos hídricos y la biodiversidad de la cuenca. Integradas como parte fundamental de los ordenamientos se potencian y pueden servir como puntos clave para propiciar el mejoramiento de las condiciones de vida de la población. Asimismo, aparte de preservar la existencia de esas áreas de mayor valor ambiental, dan pie al establecimiento de un sistema de áreas naturales protegidas y la vinculación de corredores biológicos fundamentales para la de flora y fauna.

### **III.-PARTICIPACIÓN CIUDADANA Y RESULTADOS DE LOS ORDENAMIENTOS**

Un factor clave para los ordenamientos es la participación ciudadana. En los 6 ordenamientos se logró que grupos de ciudadanos locales de todos los sectores se involucraran en los estudios para concretar las distintas etapas programadas. Como establece el reglamento del POEL fueron esos grupos sectoriales los que avalaron los estudios de los POEL en sus distintas fases. En la agenda ambiental se tuvo un involucramiento más masivo de participantes de las distintas comunidades. Cabe señalar, que las condiciones de cada uno de los 6 municipios difieren. Aunque los habitantes de las cabeceras municipales son determinantes para la vida municipal y están más accesibles para cualquier tipo de reunión, los miembros de las comunidades más rurales son quienes hacen mayor uso del territorio municipal y entre ellos se obtuvo un mayor apoyo y se encontró una mayor simpatía hacia la preservación y mejoramiento del territorio. Fue una tendencia general en los seis ordenamientos que de esas comunidades surgiera el sector conservación que opera en los ordenamientos. Entre los funcionarios municipales se tuvieron conductas muy diversas. De los 6 municipios sólo en dos casos de los ordenamientos ya concluidos, los presidentes municipales intervinieron en forma directa y se convirtieron en promotores del mismo. En los ordenamientos iniciados más recientemente hubo participación desigual. Como regla se puede decir que donde se ha profundizado el desarrollo urbano hay menos interés de los funcionarios por involucrarse y si acaso cuando han recibido información acerca de los Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables (DUIS) o acerca de la Agenda desde lo local y también en el caso de las zonas metropolitanas a constituirse se generan actitudes más proactivas hacia los POEL's de parte de algunos funcionarios municipales atraídos por la posibilidad de ganarse los presupuestos que se prometen como premio como parte de dichos programas.

En cierto grado, la conducta desigual se explica por la limitada cultura hacia lo ambiental y en particular hacia el POEL y sus ventajas, las limitaciones con que se mueven las administraciones municipales y la discontinuidad entre un cabildo y otro, así como la corta duración del gobierno municipal. No es suficiente que existan manuales municipales sobre ordenamiento que son sencillos y claros como los que ha elaborado la SEMARNAT, ni tampoco que se dediquen recursos suficientes. El problema es el rol que se confiere a lo ambiental en las acciones y prácticas municipales. De hecho, hay cierta desventaja por una tendencia civilizatoria imperante que prevalece e inclina las cosas a ver cómo menos relevante lo ambiental y que se privilegian las grandes obras urbanas y las soluciones ligadas a la modernización municipal. Eso, a pesar de que se arrastran pasivos muy relevantes con el funcionamiento de las plantas de tratamiento o la deforestación y acumulación descontrolada de basura o el agotamiento de los pozos de agua y la contaminación de cuerpos de agua. En esos casos, se estima que los ayuntamientos no pueden hacer mucho para resolver los problemas. Un caso muy emblemático es el de las plantas de tratamiento de aguas municipales, las cuáles los ayuntamientos no pueden mantener operando en forma constante porque además que no cuentan con personal especializado, no les alcanza para pagar la luz que es muy costosa. Además de que frecuentemente como ha sucedido en al menos 3 de estos municipios las plantas adolecen de fallas de origen que las hacen muy ineficientes.

Con todo, hay avances muy significativos y cambios de mentalidad muy notorios entre los funcionarios y ciudadanos de los municipios. Pero el hecho es que no se han creado las condiciones para asumir con mayor compromiso lo ambiental. La designación del director de ecología, (el hecho

de que todos los municipios de AIPROMADES ya nombren un director de Ecología si representa un avance), sin embargo, la designación sigue recayendo en un amigo del presidente municipal en turno o de alguien de su equipo, con el que se tuvo un compromiso de campaña, pero no en un profesional. Eso, como es fácil comprender deriva en que no se confía suficientemente en quien está frente de esa dirección vista como menos importante a la que no se asignan recursos suficientes para el desempeño de las funciones del cargo.

Lo acertado del planteamiento de los POEL como estrategia que integra la participación directa y desde abajo de los ciudadanos y de los sectores productivos que usan el territorio, que además ha sido muy exitosa para identificar los problemas ambientales y proponer estrategias adecuadas para el mejoramiento de cada zona de los municipios, sin embargo hasta ahora no ha logrado culminarse en toda su extensión en el caso de estos 6 ordenamientos. Hasta la fecha por distintas circunstancias no se ha llegado a decretar y entrar en funcionamiento ninguno de los 3 POEL's concluidos, con todo y que cuentan con todos los requerimientos cubiertos incluidos los borradores de reglamento y decreto municipal. Hay una problemática multifactorial que explica el porqué se han alcanzado estos resultados parciales. En cierto grado, viene desde arriba y responde a dinámicas burocráticas que tienen que ver con los tres niveles de gobierno involucrados y la complejidad técnica del instrumento y su metodología que no facilitan alcanzar resultados en un tiempo razonablemente rápido. Por algo, apenas se han logrado decretar unos 100 ordenamientos en 20 años en todo el país.

## REFERENCIAS DOCUMENTALES:

- AIPROMADES (2010) Plan Interestatal para la recuperación ambiental de la cuenca Lerma Chapala, Chapala Jal. (mimeo)
- AIPROMADES-CIESAS-SEMARNAT-(2013) Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Ocotlán
- AIPROMADES-UDG-SEMARNAT-(2013) Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Jocotepec
- AIPROMADES-Geosíntesis-SEMARNAT- (2013) Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Ixtlahuacán de los Membrillos
- AIPROMADES-CIESAS-SEMARNAT-(2013) Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Tuxcueca (2013)
- AIPROMADES-Geosíntesis-SEMARNAT-(2013) Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Chapala
- AIPROMADES-CIESAS-SEMARNAT- (2013) Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Poncitlán
- Balvanera Patricia y Helena Cotler (2009) El Capital Natural de México: Tomo II, Estado de Conservación y Tendencias del Cambio, Capítulo 4. Estado y Tendencias de los servicios Ecosistémicos pp. 189-190.
- Centro Geo Jorge L. Tamayo ( 1991) Chapala: Atlas Cibernético, semarnap.
- Helena Cotler Avalos, María Mazari Hiriart, José de Anda Sánchez, (eds.) (2006) atlas de la cuenca Lerma Chapala: construyendo una visión conjunta, semarnap, ine, unam-instituto de ecología.
- Madrey R, Laura Elena y Arturo Jiménez R. (2000). “Los recursos hidrológicos del centro de México ante un cambio climático global”. México. disponible en:  
[http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio\\_climatico/hidrologicos.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio_climatico/hidrologicos.pdf)
- Mc. Harg, Ian L. (2000) “Proyectar con la Naturaleza”, Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- PARRADO DELGADO, CARLOS CESAR (2001) Metodología para la ordenación del territorio bajo el prisma de sostenibilidad: estudio de su aplicación en la ciudad de Bogotá DC. Tesis Doctoral, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología Semarnat-ine (2006) *Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico Territorial*, México: Semarnat

## MESA VIII

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE MONITOREO CON ENFOQUE DE CUENCA



# MONITOREO COMUNITARIO DEL AGUA: RETOS Y APRENDIZAJE DESDE LA PERSPECTIVA DE GLOBAL WATER WATCH-MÉXICO.

Adriana C. FLORES-DÍAZ <sup>a,b</sup>, Miriam G. RAMOS-ESCOBEDO\* <sup>a,c</sup>, Sergio S. RUIZ-CÓRDOVA <sup>d</sup>, Robert MANSON <sup>a,c</sup>, Eduardo ARANDA <sup>a</sup>, William G. DEUTSCH <sup>d</sup>,

<sup>a</sup> Global Water Watch-México. Coatepec, Veracruz, email: miriam.ramos@endemicos.org

<sup>b</sup> Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM, Campus Morelia.

<sup>c</sup> Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz.

<sup>d</sup> Global Water Watch. Universidad de Auburn, Alabama. EUA.

## RESUMEN

Global Water Watch-México, A.C. (GWW-México) promueve el monitoreo comunitario participativo (MCP) de características biológicas y fisicoquímicas del agua con participación comunitaria, cuidando la calidad de los datos que se generan, para que las comunidades y grupos puedan orientar e incidir en el manejo de los recursos hídricos. GWW-México sigue los lineamientos del modelo de Cuidado Coparticipativo de Cuencas de Global Water Watch (GWW) y los procedimientos usados se ciñen a su Plan de Aseguramiento de Calidad de Datos validado por la Agencia de Protección Ambiental de EU, que incluye desde la certificación de monitores hasta el almacenamiento de su información. Este modelo establece que los grupos son propietarios de la información generada en el monitoreo, aunque los gráficos son de acceso libre en Internet. GWW-México ha certificado a más de 750 monitores en doce estados, en proyectos de manejo de cuencas, pago por servicios ambientales e iniciativas sociales a favor del cuidado ambiental. Las expectativas ciudadanas respecto al monitoreo implican acuerdos intracomunitarios y con autoridades gubernamentales, lo cual ayuda a reunir sus habilidades técnicas con sus capacidades de gestión. Los participantes coinciden en el interés por resolver una problemática común o en el manejo de sus recursos. La formación de los grupos varía de acuerdo con los objetivos de los participantes y con la conjunción del sector gubernamental, organizaciones sociales, instituciones académicas y personas independientes. Estos rasgos influyen en la planeación del monitoreo, su ejecución y la longevidad de los grupos. Esta última está relacionada con los vínculos institucionales, el apoyo financiero y el fortalecimiento de sus capacidades de análisis del agua. El MCP es una estrategia de trabajo vinculante entre el quehacer científico-académico y la sociedad, que fortalece el conocimiento y manejo ambiental realizado por instituciones y comunidades. En ocho años de trabajo, los grupos de la red GWW-México han reunido diversas experiencias de gestión desde el nivel local hasta la participación en programas nacionales. Este programa ha generado nuevos vínculos y permite incorporar las fortalezas del monitoreo ciudadano en la resolución de los problemas relativos a los recursos hídricos.

**Palabras clave:** Calidad del agua, aseguramiento de calidad de datos, gestión de recursos hídricos, vinculación sociedad-academia.

## 1. INTRODUCCIÓN

La investigación científica a menudo implica la colaboración de equipos de profesionales y especialistas para evaluar situaciones de índole diversa. Sin embargo, desde hace mucho tiempo ciudadanos sin entrenamiento profesional han participado en procesos conocidos como ciencia ciudadana (CC) y en menor grado en monitoreo comunitario participativo (MCP). La CC reúne a

científicos y al público en general en proyectos que amplían la comprensión y la capacidad de acopio de información de fenómenos que operan a escalas temporales y espaciales que rebasan la capacidad logística y financiera de la comunidad científica. Los datos recopilados han sido útiles en el análisis de tendencias y cambios, reportados en la literatura científica o bien para informar la gestión y toma de decisiones (Booney, 2009). Esto amplía significativamente (a) la capacidad y el alcance de observación de científicos entrenados, lo que permite preguntarse — y obtener respuesta — sobre cambios del ambiente a largo plazo y regiones extensas, que de otra manera sería mucho más difícil afrontar; y (b) la capacidad de los ciudadanos y comunidades en el conocimiento de su región. Cuenta con la contribución de muchos individuos y sus observaciones de alguna cosa en particular — agua, aves, flores, lluvia, reptiles, etc. — reunidas en una base de datos central, que puede ser analizada por científicos o por ciudadanos (p. ej. Dennis, 2013). Por su parte, el MCP se ha perfilado como un proceso más participativo, “en el que colaboran diferentes sectores de una comunidad (ciudadanos interesados, grupos comunitarios, instituciones de gobierno, industria y academia) para monitorear, dar seguimiento y responder a asuntos de interés público” (Ramos-Escobedo, 2012). En particular, el monitoreo comunitario del agua es un proceso participativo que busca vincular a un grupo comunitario con las técnicas apropiadas para entender y proteger su cuenca, trabajando a favor de un modo de vida saludable y sustentable. Dado el arraigo local que lo caracteriza, cada grupo o programa de monitoreo debe ser adaptado a los rasgos biofísicos, sociales y políticos únicos en cada región (Deutsch, 2010). De forma particular, el monitoreo de agua — el tipo más común de MCP — es una herramienta valiosa para el manejo integrado de cuencas y el manejo adaptativo de los ecosistemas, ya que involucra la participación de diferentes actores sociales (comunidades, instituciones, etc.).

El programa Global Water Watch (GWW, Vigilantes Mundiales del Agua) inició en 1992 en la Universidad de Auburn, Alabama para proveer herramientas técnicas a los ciudadanos con el fin de conocer mejor el agua de sus cuencas. La comunidad académica en general considera poco fiables los datos comunitarios (Freitag, 2008) por lo que GWW se ha preocupado de manera particular por el diseño y aplicación de un Plan de Aseguramiento de Calidad de los datos, validado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA – EU). De este modo, los monitores reciben capacitación y certificación para realizar las técnicas de análisis del agua y sus procedimientos son revisados periódicamente, para asegurarse de obtener información de buena calidad con la resolución propia que estas técnicas ofrecen (Reutebuch *et al.*, 2008). En México, GWW ha promovido desde 2005, la capacitación ciudadana en el monitoreo biológico, físico y químico del agua. A ocho años de haber iniciado sus actividades, este documento presenta una reseña general de las fortalezas, retos y aprendizajes de GWW-México.

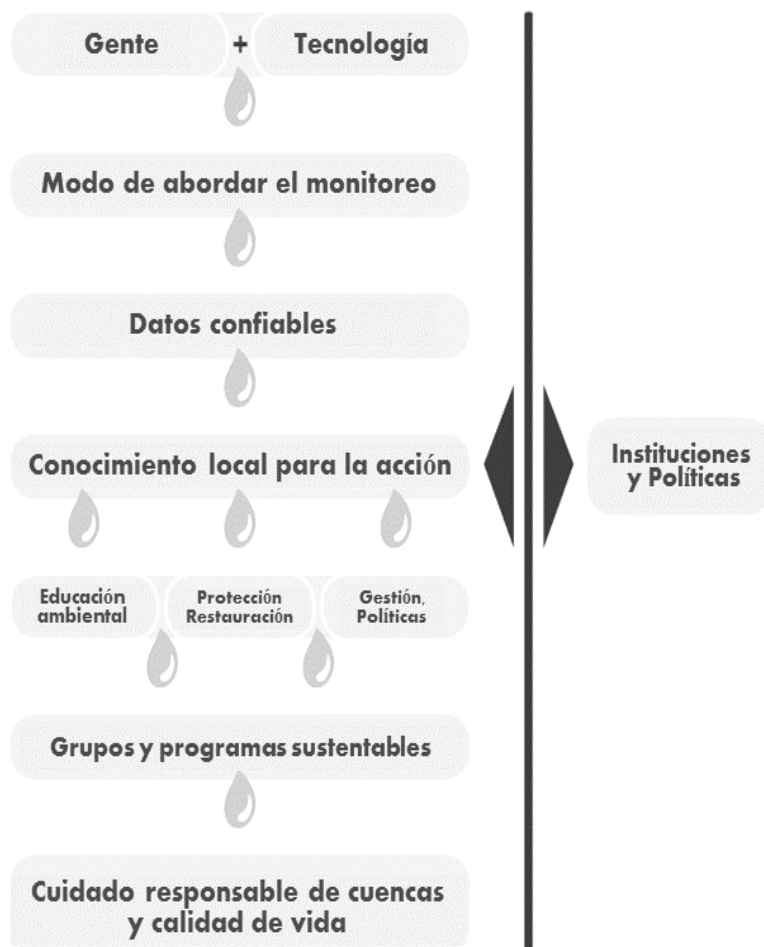
## **2. MÉTODOS**

### **2.1 MODELO DE TRABAJO**

La capacitación y reflexión acerca de las técnicas de monitoreo y el significado ambiental de los datos, constituyen un ejercicio educativo en sí mismo. El monitoreo se diseña con base en las preocupaciones de los ciudadanos o los intereses de las Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC) guiados por la experiencia de GWW y puede incorporar sugerencias sobre aspectos que GWW considera relevantes y pone a consideración de los interesados. De este modo, se monitorean los



sitios y parámetros de interés para la comunidad y conforme se incrementan sus capacidades de análisis de la cuenca, se reducen el modo y frecuencia de intervención de GWW. Los datos analizados pueden llevar a la realización de actividades, orientadas a: (1) la educación ambiental, (2) la protección y restauración y (3) la gestión y política. Los nuevos datos se van incorporando a un conjunto mayor de saberes, habilidades e intereses de la comunidad. El programa apoya el desarrollo de estrategias educativas dentro de la educación formal y no formal, respalda los datos del monitoreo comunitario y promueve los vínculos con otros grupos y /o especialistas. Estas actividades, de las cuales el monitoreo es una parte fundamental, van construyendo capacidades que permiten o fortalecen las habilidades y autogestión comunitaria. En términos ambientales, las redes de monitoreo comunitario pueden constituir una alerta temprana de eventos importantes relacionados con los recursos que observan; en este caso, la dinámica que las cuencas que se ve reflejada en los rasgos del agua (Deutsch *et al.*, 2010). GWW conoce el alcance y las limitaciones de los métodos que utiliza y contrasta periódicamente los resultados de las técnicas comunitarias con los procedimientos estándar de laboratorio. Aunado a esto GWW plantea un modelo de trabajo con las comunidades en el que participa en las etapas iniciales de los grupos de monitoreo y hasta su consolidación, permitiendo poco a poco que las comunidades se apropien del proceso y uso de sus datos para cumplir con los objetivos que se hayan planteado.



**Figura 1.** Modelo de Cuidado Coparticipativo de Cuencas de GWW, Traducido de Deutsch et. al. 2010.

## 2.2 CAPACITACIÓN PARA EL MONITOREO Y EL ANÁLISIS DE LAS CUENCAS.

Dependiendo de las necesidades detectadas GWW-México puede capacitar para el monitoreo de características físicas, químicas y/o biológicas de los cuerpos de agua a través de talleres de certificación en las técnicas apropiadas. Pueden monitorearse características básicas como temperatura, pH, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto y turbidez, flujo, sólidos suspendidos totales, contaminación fecal y biomonitoreo de macroinvertebrados. Los talleres de capacitación constituyen la base de la formación de los monitores y los grupos. Al reflexionar sobre sus cuerpos de agua, las personas aprenden a observar desde una nueva perspectiva sus paisajes cotidianos y desarrollan nuevas herramientas para atender sus preocupaciones al respecto. La práctica del monitoreo permite la vinculación entre personas y actores de la misma comunidad y encamina a los grupos a la búsqueda de opciones que lleven sus datos a la acción.

Los talleres se realizan a petición de una comunidad o grupo y se organizan en dos partes principales: (1) las sesiones teóricas, donde se explican conceptos y se discuten las condiciones

locales de los recursos hídricos. Con el fin de no generar expectativas falsas, GWW explica que no es un grupo consultor ni activista, sino un programa que acompaña a las comunidades y grupos ciudadanos, en la construcción co-responsable de propuestas acordes con su realidad e intereses respecto al agua; (2) las sesiones prácticas, donde cada participante realiza las técnicas de forma personalizada, acompañado por un entrenador certificado. Los detalles técnicos tienen un gran impacto sobre la certidumbre de los resultados, por lo que se pone especial cuidado en la toma de muestras y en su procesamiento. Esto permite confiar en que todos los grupos de la red utilizan procedimientos estandarizados y generar datos con un alto grado de consistencia.

Los participantes de los talleres de capacitación se registran en la página GWW, y se dan de alta en la base de datos al igual que los nuevos grupos y sitios de monitoreo. Los monitores certificados reciben una clave para ingresar a la base de datos para cargar la información de sus monitoreos y recuperarla cuando la necesiten. GWW respalda la autoría que tiene cada grupo sobre los resultados que genera, de modo que personas ajenas al grupo de monitoreo requieren autorización escrita de los grupos de monitores para utilizar sus datos. Los monitores afinan su técnica con el monitoreo cotidiano de los sitios definidos por el grupo o comunidad. Al año de monitorear (y posteriormente cada dos años) se realiza una recertificación para revisar y corregir la técnica y aclarar dudas con el fin de mantener la precisión y la certidumbre de los datos. Cuando se tienen 24 meses de datos de un sitio, el grupo puede solicitar apoyo en la interpretación de sus datos. En estas sesiones se revisan las bases de datos y se analizan las tendencias generales del cuerpo de agua o la cuenca en cuestión.

Dentro de la educación formal GWW-México realiza talleres con maestros de educación básica y media, incorporando el programa “Explorando nuestros ríos vivientes”, el cual consta de módulos que abordan conceptos básicos de ecología de ríos y temas relativos a la biodiversidad mexicana, las cuencas y ríos del país, y de los organismos como indicadores ambientales, iniciándoles en el uso de macroinvertebrados para conocer la calidad del agua. Los maestros transmiten este conocimiento a sus estudiantes y se refuerzan con actividades que incluyen recorridos y exploración de los cuerpos de agua vecinos a la comunidad escolar.

### **3. RESULTADOS**

GWW-México inició con un *grupo núcleo*, conformado por monitores certificados en Veracruz en 2005. El trabajo de gestión, diseño de proyectos y capacitación, realizado por el *grupo núcleo*, han dado lugar al establecimiento de las redes actuales de monitores en el país. Los sitios de monitoreo de este grupo han permanecido a lo largo de 7 años, acogidos por la Asociación de Vecinos del Pixquiac-Zoncuantla, mientras que los monitores iniciales dispersaron el trabajo hacia otros cuerpos de agua en Coatepec y Morelia, Michoacán. Recientemente, este grupo se ha constituido asociación civil dedicada exclusivamente a la capacitación y seguimiento de grupos de monitores.

### **3.1 CAPACITACIÓN**

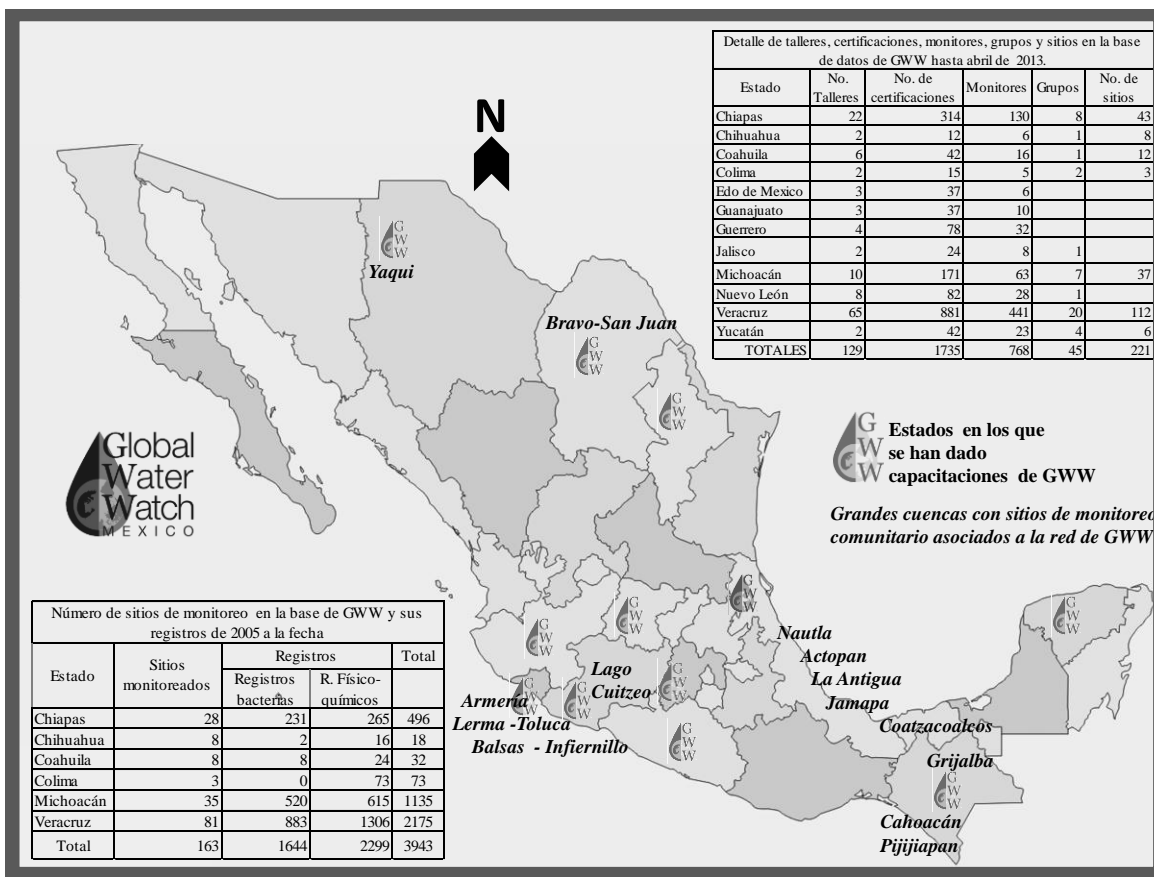
A la fecha se han realizado 129 talleres y se han capacitado a más de 750 personas, principalmente en el análisis de características físico-químicas básicas del agua y de contaminación fecal (ver Figura 2).

Los monitores certificados han formado 45 grupos en doce estados de la República; la mayoría de ellos se encuentran en el estado de Veracruz, donde se han realizado proyectos ligados a la gestión de las cuencas que drenan al Golfo de México, en Veracruz la red a involucrado la participación de diversas instituciones (INECOL, A.C., SAGARPA, PASEVIC-SEV, UNCADER-SEP, ONU-Habitat) y OSCs (SENDAS, A.C., DECOTUX A.C.) y un buen número de ciudadanos independientes que buscan incidir de modo efectivo en la gestión local del agua. Le siguen los estados de Chiapas y Michoacán. El primer estado con iniciativas impulsadas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el FMCN y por ciudadanos con similares intereses que sus contrapartes veracruzanas.; en el segundo caso una red formada por instituciones (CONANP), académicos (CIGA-UNAM) y OSC (Alternare, Biocenosis, Espacio Autónomo, Fondo Monarca y FMCN), quienes trabajan en localidades vinculadas con la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca, además de la red conformada por estudiantes y profesores de la Licenciatura en Ciencias Ambientales (LCA) de la UNAM.

Únicamente alrededor del 10% de las personas que reciben capacitación se incorporan a algún grupo de monitoreo y en muchas ocasiones se insertan en proyectos ambientales más amplios, coordinados por OSCs, instituciones académicas o gubernamentales. Aun las personas que no se involucran activamente en el monitoreo constante, durante los talleres tienen la oportunidad de escuchar información y reflexionar los asuntos el agua desde otra perspectiva, que por lo general les resulta novedosa. Las sesiones de interpretación de datos han sido escasas en GWW-México, debido al tiempo de establecimiento de los grupos y la falta de recursos financieros.

### **3.2 MONITOREO**

Actualmente la red GWW-México monitorea 163 sitios mensualmente, entre los cuales se encuentran aguas superficiales, subterráneas, costas y sistemas de suministro. Esta cifra representa un 32% comparado con los 508 sitios que monitorea la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2011) en su red primaria de agua superficial, subterránea y costas.



**Figura 2.** Ubicación de los grupos de monitoreo comunitario de la calidad del agua, número de sitios que se monitorean y detalle de talleres realizados por el grupo, de 2005 a la fecha.

La mayoría de los grupos en México realizan monitoreo mensual de características básicas o de contaminación fecal. La Figura 2 muestra una síntesis del esfuerzo de capacitación realizado en el país, del número de sitios que se monitorean actualmente por los grupos que se han formado entre 2005 y 2013 y un aproximado del la cantidad de registros que se tienen desde 2005 hasta el primer cuatrimestre de 2013. Cada registro contiene los valores que se obtuvieron en un sitio durante una sesión de monitoreo. La base de datos de GWW le permite a los grupos recuperar los datos en forma de tablas o gráficos en formatos muy dinámicos y adecuados para su difusión. Aunque inicialmente la actividad se centró en el estado de Veracruz, en la actualidad se tienen datos sitios dispersados en 13 cuencas de Norte a Sur en la República mexicana (Figura 2). Por su parte, casi en el 50% de los estados en los que se han dado capacitaciones no se han establecido grupos de monitoreo comunitario. En todos los casos esto ha sucedido con OSCs, y puede ser debido a que cuando se solicitaron las capacitaciones no se había evaluado objetivamente el esfuerzo que el monitoreo requiere y no quedó claro como el monitoreo puede fortalecer y potenciar los trabajos que acompaña.

### 3.3 TIPOS DE GRUPOS DE MONITOREO: MOTIVACIÓN

En México, los grupos se conforman generalmente por personas vinculadas a instituciones gubernamentales o académicas o a OSCs y en pocos casos se establecen grupos de monitores independientes. La diversidad al interior de los grupos plantea el reto de conciliar intereses diversos, presentes al interior de la comunidad o bien, con actores que están vinculados a ella. Se ha hecho necesario conciliar por ejemplo, el interés por saber si la calidad del agua de los cuerpos de agua de suministro en la es adecuada versus el interés por saber el estado de los ambientes acuáticos para la conservación de una especie. Algunos grupos de monitoreo se han formado por crisis sociales relacionadas con recursos acuáticos, tales como la posible extracción de material del banco del río de la comunidad o el establecimiento de presas en su cuenca. En algunos grupos el monitoreo está orientado inicialmente al agua de suministro, por lo que monitorean los pozos o manantiales, siendo la salud comunitaria el interés primordial. Otros grupos, ligados a proyectos ambientales más amplios, monitorean sitios que son indicadores de la salud de la cuenca completa, como la erosión del suelo o a la calidad del hábitat de alguna especie. Todas estas motivaciones se reflejan tanto en el objetivo del monitoreo como en su estrategia y, en el largo plazo en el proceso de consolidación del grupo.

La estrategia de vincular el monitoreo comunitario del agua a OSCs y a instituciones académicas y gubernamentales tiene la bondad de ligar al monitoreo a otra actividades de desarrollo o productiva y brindar acompañamiento a la comunidad. Sin embargo, hay características de estos organismos que pueden incidir de modo poco favorable. Por ejemplo, las OSCs tienen una tasa de recambio de personal muy alta, lo cual conduce a costos altos para mantener al personal certificado. Las instituciones suelen tener estructuras poco flexibles y el apoyo que dan al monitoreo puede resultar obstaculizado. Por otro lado, tampoco ha sido fácil conciliar los objetivos institucionales y de las OCSs con los intereses comunitarios. En las experiencias académicas hay una gran variación, desde proyectos en los que se incluye a la comunidad hasta los que toman las herramientas de GWW únicamente para apoyar estudios específicos sin involucrar a la comunidad. Una limitante en todos los casos es duración de los recursos financieros en los proyectos de cualquier índole, generalmente el tiempo de financiamiento no es suficiente para integrar el monitoreo en los procesos productivos. De manera que la comunidad no toma los datos como un insumo importante para su producción ni se apropia del monitoreo al grado de considerar necesario contribuir con recursos para el monitoreo de sus fuentes de suministro. Estas situaciones han inhibido la consolidación de grupos y su autonomía, lo que ha resultado en la fragmentación de sus cadenas de datos.

### **3.4 LOS DATOS EN ACCIÓN**

#### **3.4.1 Gestión**

Las expectativas ciudadanas respecto al agua, implican acuerdos intracomunitarios, con autoridades gubernamentales y a veces con académicos. Para ello se requiere reunir sus habilidades técnicas con sus capacidades de gestión. En este sentido, la reflexión sobre los datos del agua provee a las comunidades de argumentos claros y de datos sólidos para poder gestionar ante autoridades y académicos sus preocupaciones.

Por ejemplo, el grupo de Amigos del Río Pixquiac-Zoncuantla (APZ), de la Asociación de Vecinos del Pixquiac-Zoncuantla, A.C. fue el primer grupo de monitoreo voluntario establecido en

México y cuenta con más de 7 años de registro de datos en en el río Pixquiac y realizando innumerables acciones para su conservación, mejora y restauración (Aranda, Sotres y Kral, 2013). APZ también participa activamente en iniciativas de gestión del agua, en 2009 junto con los grupos de monitoreo Río Pintores Global Water Watch y Manantiales en la Arena, y otros ciudadanos independientes, formaron el grupo IMCAS-X (Iniciativa de Monitoreo de calidad de Agua y Saneamiento de la Zona Metropolitana de Xalapa) en un proceso facilitado por la ONU. El establecimiento de la (IMCAS-X) muestra el camino que siguieron los grupos, logrando vincular otros grupos en la Zona Metropolitana de Xalapa (ZMX) y ampliando la red de monitoreo en la zona. Ocasionalmente, los resultados del monitoreo se han incorporado rápidamente a la gestión local del agua. En la microcuenca Rosa de Castilla, Mich. se evaluaron las fuentes de suministro, por parte de estudiantes de la LCA-UNAM, en conjunto con el INIFAP y SEMARNAT estatal. Los resultados se mostraron a las personas y autoridades locales y a los auxiliares de salud de la zona. De forma inmediata se tomaron medidas que disminuyeron la contaminación fecal en los pozos y depósitos de agua. Los monitores asociados a GWW del sistema de suministro de Naolinco, Ver, vivieron una experiencia similar en 2006 y 2010.

En síntesis, la gestión de los grupos de monitoreo tiene que ver con (1) la gestión de los sistemas de abastecimiento y saneamiento de agua y la protección sus ríos, como es el caso IMCAS-X en la ZMX y de los Monitores de la Cuenca del Valle de Jovel en san Cristóbal de las Casas, Chis.; (2) el diseño de estrategias de manejo integral de cuencas con organismos plurales de planeación, como es el caso del Subcomité de Cuenca del Río Huazuntlán, Ver. y el Comité de Cuenca del Río Pixquiac, Ver.; (3) el fortalecimiento del monitoreo como un componente de la planeación estratégica y de los programas de pagos por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), como es el caso de la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la cuenca baja del Río Ayuquila, el Programa de Compensación por Servicios Ambientales del Río Pixquiac (PROSAPIX) y otros socios del Programa Cuencas y Ciudades que impulsa el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza; (5) la integración de redes interesadas en la gestión del agua en regiones específicas, como es el caso de la Red de Monitoreo de Agua de la Reserva de la Mariposa Monarca, en donde participan siete organizaciones de la sociedad civil, académicas e instituciones gubernamentales.

### **3.4.2 Educación ambiental: vinculación academia- sociedad civil y difusión.**

En algunos casos cuando los monitores del agua empiezan a difundir sus resultados localmente, otros grupos empiezan a interesarse en el proceso de monitoreo y una forma de educación no formal inicia con este proces, en el que los pobladores locales reciben información sobre sus ríos y cuencas y sobre la problemática que ocupa a los grupos de monitores. Asimismo, los monitores empiezan a vincularse con académicos e instituciones encargadas del agua y la información proveniente estudios académicos o los datos gubernamentales y la de los monitores comunitarios puede incorporarse por los monitores de un modo más claro y útil. Estas interacciones les permiten a los monitores profundizar en el conocimiento de sus cuencas.

La vinculación de los monitores con actividades académicas formales de educación superior es igualmente importante para impulsar la formación de grupos donde inicien procesos de investigación científica participativa (ICP). GWW-México ha facilitado actividades de investigación en colaboración con la Universidad Veracruzana, el Instituto de Ecología, A. C., la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la Universidad Nacional Autónoma de

México. Estos trabajos han incluido la producción de materiales educativos para ENRV, han utilizado los métodos de GWW para abordar diferentes aspectos en tesis de licenciatura, de especialización y de maestría. Estos han abordado preocupaciones de comunidades urbanas y suburbanas y de productores agropecuarios, otras que han utilizado las técnicas de GWW para hacer trabajos de diagnóstico donde se analizan problemáticas ambientales relacionadas con actividades antropogénicas, o en las que se analizan las enfermedades gastrointestinales a la luz del manejo que se da a la vegetación y la ganadería en comunidades suburbanas, o donde se aborda el deterioro en una sección de río utilizando los datos que ha producido un grupo de monitoreo (GWW-México 2013).

Para aprovechar desde diferentes plataformas el trabajo de los monitores y tener un mayor impacto en la educación ambiental desde los programas formales, GWW ha implementado el currículo Explorando Nuestros Ríos Vivientes (ENRV) que permite la generación de vínculos entre las escuelas locales y las comunidades donde se encuentran. Este currículo propone actividades, relacionadas con la biodiversidad acuática y favorece la reflexión de la problemática local de los cuerpos de agua. Aproximadamente 100 maestros se han capacitado en el currículo ENRV, quienes ahora tienen la oportunidad de abordar temas de ciencias invitando al resto de la comunidad y generando aprendizajes en torno a problemáticas concretas. ENRV fue adaptado con el apoyo del Programa de Aplicación de los Sistemas de Enseñanza Vivencial e Indagatoria de las Ciencias (PASEVIC) en Veracruz, en niveles desde preescolar hasta bachillerato. En cada nivel se adaptaron los contenidos y materiales requeridos. Los profesores de educación especial hicieron una adaptación particular a los métodos prácticos para poder abordarlos en sus tareas diarias.

Las actividades de difusión se han orientado a dar información general sobre GWW-México, a la concientización de la ciudadanía sobre problemas del agua y a la divulgación de los resultados del monitoreo. Se han realizado reuniones informativas sobre el programa en escuelas, con organizaciones e instituciones tales como la Universidad Veracruzana, la Secretaría de Medio Ambiente de Veracruz, la delegación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación en Veracruz, el Centro de Anteproyectos del Golfo-CFE, el Comité de Cuenca del Lago de Cuitzeo en Morelia, Michoacán y el Banco Mundial. Los resultados del monitoreo y de la gestión ambiental que realizan los grupos, se han dado a conocer desde el nivel local hasta reuniones internacionales, donde participa la red GWW- México. En el caso de la Red de Monitores de Agua de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca, se han emitido escritos de difusión sobre la red y de sus actividades, en distintos foros. En Veracruz la difusión se ha hecho también a través del radio, televisión y prensa escrita.

#### **4. REFLEXIONES, APRENDIZAJES Y RETOS**

El quehacer de GWW en el contexto del monitoreo comunitario se inserta en todo el gradiente, desde CC hasta MCP y con cada vez más incursiones en ICP. El trabajo de GWW-México ha impulsado o se ha integrado en nuevas formas de participación en la gestión de cuencas, abriendo opciones para la educación y la conciencia ambiental, el trabajo académico, la colaboración institucional y la participación activa e informada de la gente en asuntos que le preocupan sobre el agua.



Dado que desde el mismo modelo de trabajo, GWW ve su participación en estos procesos como un apoyo técnico para las comunidades, consideramos que este gradiente se va a mantener entre sus redes de monitoreo ya que lograr el MCP y la ICP son procesos sociales que requieren tiempo para desarrollarse y para arraigarse en la sociedad. GWW supone varios retos para la sociedad mexicana: el primero tiene que ver con la participación no remunerada en asuntos de interés colectivo; el segundo es la vinculación de académicos que consideren el centro de su investigación las preocupaciones sociales; el tercero tiene que ver con la tenacidad de los grupos para pasar por un proceso de largo plazo, donde en el principio está la excusa del monitoreo comunitario de agua para en el mediano plazo entender su entorno, plantearse metas y en el largo plazo adquirir la habilidad de gestionar su consecución. Dada la situación social del país, consideramos crucial que los grupos de monitoreo a nivel local, regional y nacional, estén transformándose en nuevas formas de tejido social, que incluyen personas y grupos preocupados por el ambiente, que deciden colaborar en proyectos relacionados con el agua.

Después de ocho años, creemos que podemos caminar lento con los grupos que así lo deseen para conseguir su evolución y la de sus comunidades a espacios más participativos. Esperamos en unos años que el gradiente que ahora observamos en nuestros grupos represente un proceso de "maduración social" donde los grupos más antiguos estén más cercanos al MCP y apoyados por ICP. Sin embargo, entendemos que los grupos se moverán en ese gradiente dependiendo de las condiciones locales que algunas veces favorecerán esa "maduración" mientras que otras la inhibirán o desarticularán logros anteriores. Los trabajos académicos donde han participado los monitores GWW-México muestran la posibilidad de construir conocimiento conjunto entre científicos y ciudadanos. Los proyectos realizados con instituciones académicas o gubernamentales, permiten vislumbrar la participación del binomio academia-ciudadanía en el diseño de políticas públicas, incorporando al monitoreo como una práctica vital que facilita la *vigilancia social* de la toma de decisiones.

Los retos para GWW-México son

- En el corto plazo GWW-México requiere obtener recursos para cubrir costos de capacitación, operación y administración y la gestión de recursos adicionales para apoyar a los grupos en la red de monitoreo. Para ello GWW-México se ha conformado como una asociación civil y busca obtener la deducibilidad de impuestos, para atraer fondos que ayuden a conseguir sus objetivos.
- Proveer a su personal de actualizaciones profesionales y a sus grupos de monitores en un sistema de educación continua para fortalecer las capacidades de sus miembros y a la organización. Este reto obedece a la necesidad de mantener la integridad de la información generada por el monitoreo así como fortalecer las capacidades de las comunidades para utilizarla.
- Fortalecer los vínculos entre grupos y monitores, propiciando la comunicación y el aprendizaje conjuntos e impulsando el apoyo de toda la red, para las acciones que cada grupo decida realizar.
- Encontrar la forma de persuadir a las OSC y a las instituciones que buscan trabajar con sus métodos de enraizar el monitoreo del agua en las comunidades, integrándolo en procesos de manejo de recursos naturales, en vez de sustentar el monitoreo en su personal, o promotores

y brigadas asalariadas. Esto debido a que los grupos de monitores voluntarios son más estables en el largo plazo.

- Establecer un protocolo de seguimiento a los proyectos que desarrolle con sus diversos socios, de modo que se ofrezca respaldo a las redes de monitoreo en el mediano y largo plazos.
- Plantear expectativas claras, en plazos de tiempo que permitan gestionar recursos y obtener datos de modo que se mantenga el interés de la comunidad y se pueda valorar el peso e importancia del trabajo realizado, así como la inserción de los nuevos datos dentro de la gestión que realizan los grupos.
- Mostrar a la comunidad académica mexicana y a las instituciones que los datos comunitarios son confiables y adecuados para la toma de decisiones en cuestiones aplicadas al manejo de los recursos hídricos. Por supuesto reconociendo las limitaciones que implica resolución de sus técnicas, y la fortaleza que tiene debido a la frecuencia y largas series de datos y como sistemas de primera alerta.
- Respecto a la incursión de los métodos de GWW en educación formal, el reto es capacitar a los maestros para que se vuelvan autónomos en los trabajos de campo, así como vincularlos con los monitores comunitarios locales.

## 5. CONCLUSIONES

A ocho años de su inicio, el trabajo de GWW-México se ha extendido rápidamente, lo cual muestra la gran necesidad de contar con datos confiables disponibles para la toma de decisiones respecto al agua y el interés ciudadano de participar en estas decisiones.

El proceso de aprendizaje de MCP con el modelo de GWW desde la certificación inicial hasta el manejo de los datos es largo; aun así, una proporción significativa de los monitores certificados mantiene el interés en el proceso. Esto motivó a GWW-México a institucionalizarse para facilitar la búsqueda de financiamiento para estabilizar sus actividades, de modo que pueda ofrecer respaldo en el corto, mediano y largo plazo a los grupos afiliados a su red.

La discusión, manejo y solución de problemas relativos a los recursos hídricos vinculando a la academia con educación no-formal, en forma de generación de conocimiento local por monitores comunitarios, es uno de los ejes centrales del trabajo de GWW-México. Este eje descansa sobre un trabajo robusto de obtención de datos que incluye comunicación continua con los monitores para brindarles apoyo técnico y científico.

Resulta muy importante el tejido social que la red va formando, lo cual requiere acciones que lo fortalezcan en el corto plazo.

El papel de los monitores comunitarios resulta crucial ya que puede apuntalar la cantidad de información con la que se cuenta a nivel local, regional y nacional, dado que las posibilidades ciudadanas son significativamente mayores a los recursos humanos con que cuentan las agencias gubernamentales. La información de los monitores constituye una primera alerta sobre la situación del agua, así como de eventos extremos además de apoyar la generación de conocimiento sobre procesos poco estudiados en el país.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los monitores y grupos afiliados a la red de GWW-México por haber mantenido su esfuerzo. A Georgina Vidriales y SENDAS, A.C. por su fuerte participación en el inicio de GWW-México; al Instituto de Ecología, A.C., al Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, al Centro de Investigaciones en Ecosistemas- UNAM, al Instituto de Ecología y Cambio Climático, al Distrito No. 4 de la SAGARPA, a UNCADER-SEP, a PASEVIC-SEV, al CETMAR No. 7, a la Universidad de Auburn, Alabama, Al Proyecto GWW-GoMA (acuerdo US EPA/Auburn University EPA-MX-95413709-0) . Gracias a los estudiantes de la Universidad Veracruzana, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, la Universidad Monterrey, la Escuela Nacional de Estudios Superiores de la UNAM- Morelia, por su participación entusiasta y su compromiso con el cuidado ambiental y la justicia social. Gracias a los campesinos y ciudadanos preocupados por el agua y dispuestos a poner “un grano de arena”. A nuestros hijos maravillosos.

## REFERENCIAS

- Aranda Delgado, E., F. Sortes Castillo y R. Kral Sosa Acosta, 2013. *Problemática del Manejo de los Recursos Hídricos de la Comunidad de Zoncuantla, Coatepec, Ver.* Asociación de Vecinos del Pixquiac-Zoncuantla, A.C. En: III Congreso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Morelia Michoacán, CIGA-UNAM. <http://zoncuantla.org>
- Booney, R, C. B. Cooper, J. Dickinson, S. Kelling, T. Phillips, K. V. Rosenberg and J. Shirk. 2009. Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy. *Bioscience* 59(11): 977-984.
- CONAGUA. 2011. <http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo24.html>.
- Dennis EB, Freeman SN, Brereton T, Roy DB. 2013. Indexing butterfly abundance whilst accounting for missing counts and variability in seasonal pattern. *Methods in Ecology and Evolution*: n/a-n/a.
- Deutsch, W.G., S. Ruiz-Córdova and B. L. Duncan. (Eds.) 2010. *Community-Based Water Monitoring. A practical model for Global Watershed Stewardship*. Global Water Watch Program. Auburn University, Alabama. USA. 182pp.
- Freitag, A. 2008. *Comparing best management practices of community based monitoring between habitats in the literature and in reality*. Tesis presentada en la Universidad Cornell. 39 pp.
- GWW-México. 2013. Publicaciones, <http://www.globalwaterwatch.org/MEX/MXesp/MXACADpubs.aspx> (visitado en abril 2013)
- Ramos-Escobedo, M. 2012. *Monitoreo comunitario participativo*. Global Water Watch-México. Enciclopedia ENSUMA. [http://www.wikiensuma.mx/contenido/Monitoreo\\_comunitario\\_participativo](http://www.wikiensuma.mx/contenido/Monitoreo_comunitario_participativo). Descarga de abril 2013.
- Reutebuch, E., W. Deutsch and S. Ruiz-Córdova. 2008. *Community-Based Water Quality Monitoring – Data Credibility and Applications*. Alabama Water Watch, Auburn University Alabama. 24 pp.



# ENFOQUE SISTÉMICO APLICADO AL MONITOREO PARTICIPATIVO DEL AGUA EN CUENCAS COMPLETAS: ESTUDIO DE CASO EN EL BAJO BALSAS

Rosaura PÁEZ BISTRAIN<sup>a</sup>, Ana BURGOS TORNADU<sup>a</sup>, Hilda RIVAS SOLÓRZANO<sup>a</sup>, Estela CARMONA JIMÉNEZ<sup>a</sup>.

<sup>a</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM campus Morelia. [rpaez@ciga.unam.mx](mailto:rpaez@ciga.unam.mx)

## RESUMEN

El seguimiento (o monitoreo) es una fase fundamental del manejo adaptativo y un componente básico para el manejo de cuencas. Recientemente, esta actividad ha evolucionado hacia esquemas participativos (comunitarios), entendidos como grupos de la sociedad organizados para generar y usar información útil para la toma de decisiones ambientales. A pesar de su importancia creciente, el estudio de este fenómeno socio-ambiental es muy cualitativo o anecdótico, pues no se cuenta con un marco sólido para conceptualizar sus alcances. Este trabajo utilizó las premisas del enfoque sistémico para conceptualizar el monitoreo participativo reconociendo componentes, flujos, procesos, contextos y propiedades emergentes, actuando en espacios geográficos definidos como cuencas o territorios. El marco conceptual fue aplicado al caso del monitoreo de la calidad del agua en tres cuencas completas integradas en el sistema hidrográfico Presa Infiernillo-Bajo Balsas (Michoacán), donde se aplica desde 2010 una estrategia de intervención colaborativa para la operación de 15 grupos de monitores campesinos, abarcando más de 60 puntos de muestreo regular. Bajo el marco propuesto, la estrategia aplicada es concebida como flujos de materia, energía e información actuando sobre componentes sociales y técnicos del sistema. El marco conceptual ubicó como “sistema primario” a tres componentes en interacción: i) el grupo de monitores campesinos, ii) el objeto del monitoreo (fuentes de agua), y iii) los medios de actuación. Dentro de los procesos de interés, se focalizó en la participación de los actores locales, que respondió a un patrón de tipo “anular concéntrico”, con un núcleo sólido de participación, con un segundo y tercer nivel con menor participación (periférico y eventual); a los cuales se agrega un cuarto nivel de personas que no participan regularmente en el muestreo de agua, pero que reciben información desde cualquiera de los niveles de participación, y son cruciales para la toma de decisiones comunitarias y la ejecución de acciones. El enfoque también hace centro en las interacciones entre grupos de monitores dentro de cada cuenca o sector de cuenca. El marco sistémico ofrece un gran número de posibilidades para conceptualizar y estudiar los efectos del monitoreo participativo sobre objetos específicos (agua, suelo, bosques) en cuencas completas.

**Palabras clave:** monitoreo participativo, enfoque sistémico, calidad de agua.

## 1 INTRODUCCIÓN

El monitoreo ambiental comunitario (Community-Based Environmental Monitoring, CBM) ha sido reconocido como un fenómeno con múltiples efectos positivos para el manejo ambiental y la protección de ecosistemas (Becker et al. 2005; Brown et al. 2012). Su aplicación en el área de la salud ha mostrado su efectividad para mejorar los servicios de atención pública (Björkman and Svensson 2009), y reducir la incidencia de enfermedades endémicas y problemas básicos en países rezagados (DucThang et al. 2009). A su vez, el CBM sobre la calidad de agua se ha extendido con

experiencias en todo el mundo y es visto como la vía para orquestar soluciones locales a esta problemática hídrica (Deutsch et al. 2005; Nare et al. 2006). Dada su capacidad para construir procesos participativos, grupos y redes de decisión y acción, el CBM ha sido señalado como promotor del cambio social (Bliss et al. 2001; Van Rijsoor and Jinfeng 2005).

Desde su aparición en escena, el CBM creció como una expresión de la actividad científica en la interface Ciencia-Sociedad. El CBM concibe una manera más abierta de construcción del conocimiento y el uso de la información, y sostiene que la articulación de la ciencia y la sociedad son fundamentales para generar conocimiento con el fin de entender y actuar sobre los problemas ambientales actuales (Conrad y Hilchey 2011). El fenómeno de CBM plantea dos preocupaciones científicas principales. Por un lado, se busca que los programas sean rigurosos y estén apegados a los estándares del monitoreo ecológico tales como los sugeridos por Vos et al. (2000). Por el otro, se requiere comprender los procesos sociales que promueve (Conrad y Doust 2008; Fernandez-Gimenez et al. 2008). Estas múltiples facetas dificultan la documentación, análisis y síntesis de las iniciativas de CBM. Conrad y Hilchey (2011) reconocieron que mientras las iniciativas en Canadá y USA, Australia y el Reino Unido están bien documentadas, otras en diversos países del mundo están débilmente registradas, lo cual dificulta la comparación y contraste entre experiencias y provoca vacíos en el entendimiento, explicación y prospección de este fenómeno.

Para contribuir al examen y entendimiento del fenómeno de CBM bajo diferentes condiciones y contextos, así como para identificar debilidades en su implementación, este trabajo propone un marco de estudio basado en el enfoque sistémico, con dos propósitos. El primero para describir y explicar el desarrollo e impacto de experiencias de CBM, con el fin de mejorar su entendimiento como fenómeno socio-ambiental. El segundo, aplicar el marco propuesto al examen de un programa de monitoreo comunitario de la calidad del agua desarrollado en el trópico seco en México, en un contexto rural de alto rezago social.

## **2. ENFOQUE DE SISTEMAS PARA EL ESTUDIO DE MONITOREO AMBIENTAL COMUNITARIO**

Desde las primeras formulaciones propuestas por Von Bertalanffy en los años 50s, el enfoque sistémico (ES) ha sido aplicado para la elaboración de modelos sobre fenómenos que involucran componentes sociales y biofísicos o ecológicos, en conceptualizaciones denominadas sistemas socio-ecológicos o socio-ambientales (Gallopín et al. 1989; Holling et al. 1973). Esta combinación muestra un alto potencial, tanto en modelos heurísticos, como para la comunicación, el diseño y la toma de decisiones (EksvårdeRydberg, 2010). Con estos lineamientos en mente, se dio lugar a la conceptualización sistémica del fenómeno de CBM esquematizada en la Figura 1.

### **2.1. NIVEL FOCAL Y SISTEMA PRIMARIO: COMPONENTES E INTERACCIONES**

En esta conceptualización, el CBM ubica un nivel focal donde se sitúa un sistema primario constituido por tres componentes de interés (Figura 1): i) sujetos sociales trabajando

mancomunadamente, ii) el objeto del monitoreo, y iii) los medios de actuación. Así como cinco relaciones relevantes.

Los *sujetos sociales* son grupos de personas no expertas en temas ecológicos o ambientales que están interesadas o son motivadas para centrar su atención en algún elemento biofísico con el cual están en contacto. El *objeto de monitoreo* lo constituyen elementos biofísicos del espacio habitado por el grupo social como el agua, el aire, la fauna, los bosques, entre otros. Finalmente, *los medios de actuación* refieren al conjunto de elementos que permiten al grupo social incidir sobre el objeto del monitoreo. Estos pueden ser recursos organizacionales, materiales, o comunicativos. En este modelo, estos tres componentes constituyen el centro de atención del CBM (Figura 1).

La primera relación establecida entre el grupo social y el objeto de monitoreo resulta en el proceso de *administración de datos*, cuyo primer paso es la generación de datos. La forma en que el dato es obtenido es una propiedad fundamental de la actividad de monitoreo y es precisada mediante protocolos rigurosos. El segundo proceso surge como un bucle de retroalimentación en el mismo componente del sujeto social y refiere al *aprendizaje social* (Figura 1). Según Pretty y Ward (2001), el aprendizaje social está basado en relaciones de confianza, reciprocidad e intercambio, reglas, normas y sanciones comunes y es tanto productor como producto de la conectividad, redes y grupos. El tercer proceso es el que ocurre por la relación establecida entre el sujeto social y los medios de actuación *-asimilación y toma de decisiones-*. Este refiere al reconocimiento que el sujeto social logra de la actividad de monitoreo, no como la mera acumulación de datos, sino como el punto de partida para actuar de manera informada. Finalmente, las últimas dos relaciones, por un lado se da lugar a la *acción directa* (o manejo) que el sujeto social realiza a partir de sus medios de actuación sobre el objeto del monitoreo. Por el otro, surge el proceso de *vinculación*, o relaciones con actores externos (instituciones de gobierno, comunidades vecinas, empresas, universidades, OSC), que apuntan a motivar la cogestión sobre el objeto del monitoreo, mediante procesos de regulación y vigilancia, aplicación de normatividad, o reducción de externalidades negativas hacia el sistema primario.

## 2.2 ESTRUCTURA JERÁRQUICA EN EL CBM

El enfoque sistémico lleva al reconocimiento de la estructura jerárquica del sistema completo, establecida por los niveles de organización que son relevantes para entender el fenómeno de interés. La cual reconoce al menos a tres niveles de organización; estos son, el nivel focal donde se ubica el sistema primario, un nivel sub-focal o de mayor detalle, y un nivel supra-focal o de contexto. Aplicado al fenómeno de CBM, el nivel sub-focal pone atención en los individuos que componen el grupo social, en los elementos específicos del objeto del monitoreo, y en aquellos sub-componentes que integran los medios de actuación. El nivel supra-focal remite al contexto geográfico y socio-ambiental donde el CBM es desarrollado. El contexto geográfico permite establecer las relaciones espaciales de las actividades de monitoreo; mientras que el contexto socio-ambiental condiciona fuertemente el diseño y aplicación del programa de monitoreo (Pollock and Whitelaw 2005).

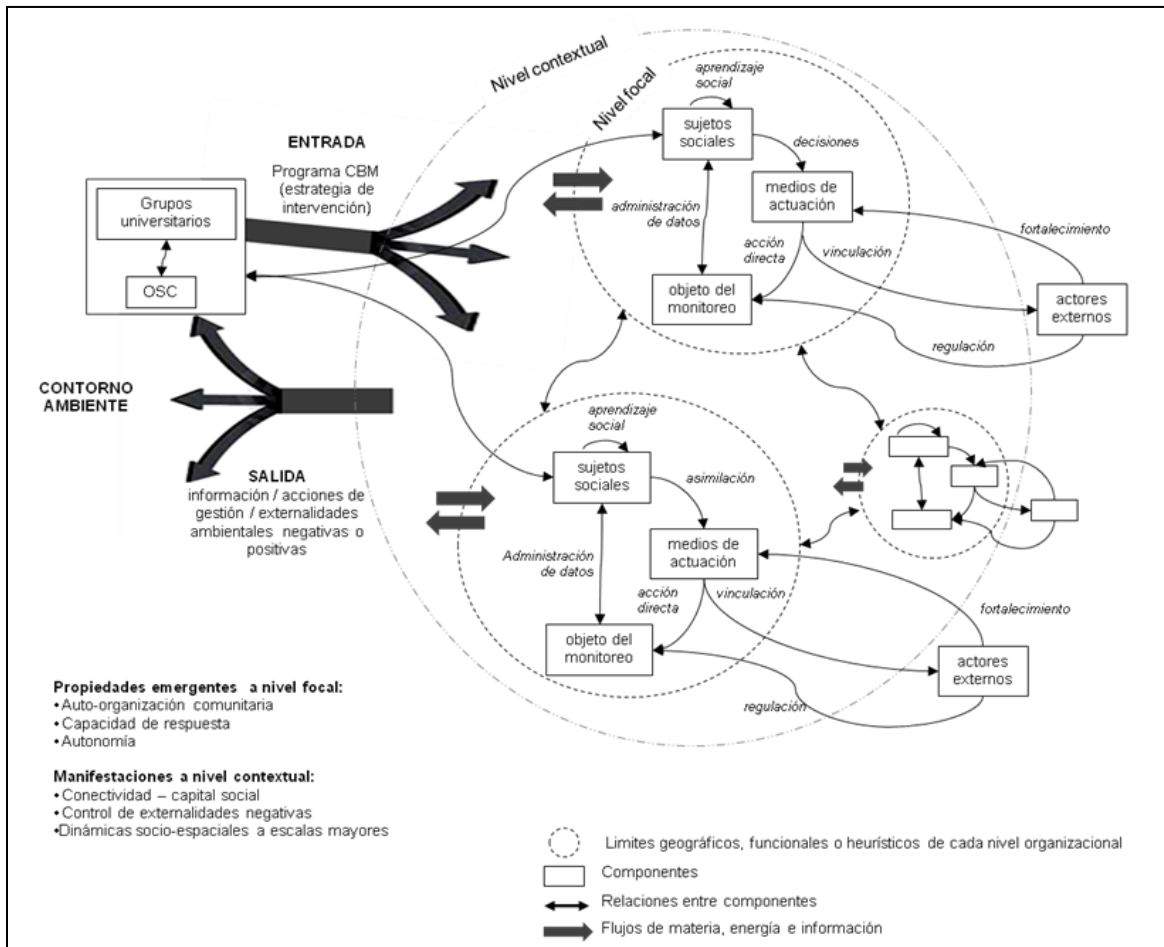


Figura 1. Modelo sistémico para representar el fenómeno de Monitoreo Comunitario (CBM).

### 2.3 PROPIEDADES EMERGENTES DEL CBM A DIFERENTES NIVELES JERÁRQUICOS

El reconocimiento de los niveles jerárquicos lleva al reconocimiento de las propiedades emergentes, las cuales son resultado de las interacciones de los componentes a un nivel de organización, y derivan en estructuras y funciones que solo son observables a niveles jerárquicos mayores (Giampietro and Mayumi 1997). En el modelo de CBM propuesto, las propiedades emergentes de interés en el nivel focal (sistema primario) son la *auto-organización comunitaria*, la *capacidad de respuesta* y la *autonomía local* para el manejo ambiental (Figura 1).

La *auto-organización* refiere a la aparición de nuevas estructuras (sociales, infraestructura, equipo, organización), que almacenan y procesan la información generada y propician una complejidad estructural mayor a la pre-existente. La *capacidad de respuesta* está relacionada con la habilidad del sistema primario completo para enfrentar situaciones problemáticas (mal manejo ambiental) y lidiar con la incertidumbre; siendo el CBM un vehículo idóneo para desarrollarla. Ambas propiedades emergentes, la auto-organización y la capacidad de respuesta, están relacionados con la autonomía de la comunidad, vista como la capacidad de decidir y actuar sobre los recursos naturales locales, con una visión amplia para afrontar el futuro.



## **2.4 FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN EL CBM**

Usualmente, los programas de CBM son soportados por grupos externos que pertenecen principalmente a universidades y Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC) que colaboran con intereses afines o complementarios (Savan 2004). En términos sistémicos, estos grupos inyectan al sistema un flujo de materia, energía e información (MEI) de alta calidad (Figura 1, flechas gruesas), que tiene la capacidad de activar procesos que anteriormente no existían, o que difícilmente emergerían de manera espontánea (Kay et al. 1999). Estos flujos son ingresados en un modo ordenado, denominado Estrategia de Intervención (EI), cuyo diseño y desarrollo deben basarse en una serie de criterios teóricos, conceptuales, técnicos y éticos para actuar sobre los componentes tanto biofísicos como sociales del sistema primario, y sobre las diversas relaciones entre estos (procesos). El fin último de la EI puede variar de acuerdo a los diferentes esquemas de CBM perseguidos, que varían desde el involucramiento local solo para la colecta de datos hasta la búsqueda de la autonomía de los grupos locales (Danielsen et al. 2008). Finalmente, los programas de CBM producen también flujos de salida (Figura 1, flechas gruesas). La información generada es un producto central que normalmente es el de mayor interés de los grupos universitarios. Sin embargo, estos flujos abarcan también la energía producida por el trabajo humano para conectar al sistema primario con otros actores externos.

## **3. ESTUDIO DE CASO: EL MONITOREO COMUNITARIO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL MEXICO RURAL**

En este trabajo se aplicó la aproximación sistémica para examinar el desarrollo e impacto de un programa de monitoreo comunitario de la calidad del agua en un área que destaca por su carácter rural, un marcado déficit hídrico, y un fuerte aislamiento y rezago socio-económico. En este marco se impulsó en el año 2010 la implementación del “Programa Monitoreo Comunitario de la Calidad del Agua en el Bajo Balsas” (MCCA-BB), el cual tuvo un doble propósito. El primero fue obtener información confiable sobre el estado y variación estacional de la calidad del agua en las fuentes utilizadas por la población local e identificar los factores naturales y antropogénicos que la alteran. El segundo propósito fue impulsar procesos comunitarios de participación, capacitación y organización para actuar sobre los recursos hídricos (i.e. manejo ambiental), y mejorar la capacidad de respuesta y la auto-organización de las comunidades locales para la gestión del territorio y las cuencas en la cual viven (i.e. cambio social).

### **3.1. NIVEL CONTEXTUAL**

El Programa MCCA-BB se implementó en un sistema hidrográfico de tres cuencas medianas, con 1140 Km<sup>2</sup> de cobertura, en la ribera norte de la Presa Infiernillo correspondiente a la parte baja de la a cuenca del Rio Balsas en el Estado de Michoacán, México. El clima es cálido seco-con lluvias en verano, con un promedio anual de precipitaciones de 650 mm concentradas entre junio y octubre, y temperaturas medias anuales de 28°C (datos 1940 – 2002). Debido a la dinámica estacional, el agua juega un papel articulador del funcionamiento de los ecosistemas, de las actividades

productivas y los procesos sociales, dando lugar a un sistema socio-ecológico regulado por el agua (Maass y Burgos 2011).

El área es de carácter rural con un campesinado no-indígena establecido en pequeños asentamientos de 15 a 200 viviendas, bajo un esquema ejidal de tenencia de la tierra. En el área, el aislamiento de la población es muy alto, así que, los sistemas primarios tienen una exposición baja a flujos de materia (i.e. dinero, alimentos, materiales de construcción, etc.), energía (combustible fósil, trabajo de actores externos,) o información desde el exterior, lo cual restringe también sus medios de actuación. La estructura de la población presenta una baja proporción de adultos productivos y jóvenes (18 a 45 años), y una dominancia de niños menores de 14 años y adultos de más de 45 años, con una tasa de crecimiento poblacional cercana a 0. Las restricciones naturales, el rezago socio-económico, el abandono gubernamental y la debilidad de las instituciones locales han fomentado la migración ilegal a EUA y el involucramiento de jóvenes en actividades ilícitas (delincuencia organizada).

### **3.2 EL NIVEL FOCAL: COMPONENTES Y RELACIONES DEL SISTEMA PRIMARIO**

El sistema primario en el área de estudio fue definido por: i) la unidad agraria (ejido) y el grupo de monitoreo (sujeto social); ii) las fuentes de agua de la población local (objeto del monitoreo); y iii) las instituciones locales y los recursos materiales para el manejo de agua (medios de actuación).

#### **3.2.1 Los sujetos sociales: unidades agrarias y campesinos monitores**

El programa MCCA-BB fue impulsado en quince unidades agrarias (ejidos), ampliamente distribuidas en el sistema hidrográfico antes descrito. Al inicio del programa, estas mostraban una actividad interna muy baja para la atención de sus fuentes de agua. La integración del grupo social en cada una se promovió desde las instituciones locales pre-existentes dadas por la asamblea ejidal y las autoridades locales. La invitación de participación fue dada en el marco de los proyectos regionales en marcha, y en todo momento fue amplia, dirigida tanto a aquellas personas con cargos de responsabilidad en sus comunidades, como a los vecinos y habitantes locales sin distinciones.

#### **3.2.2. El objeto del monitoreo: las fuentes de agua**

El programa estuvo centrado en el monitoreo de la calidad del agua en las fuentes que son el soporte de los asentamientos humanos. El tipo de fuente de agua disponible en cada unidad agraria depende de su ubicación topográfica en las cuencas. En las partes altas (> 700 msnm), donde los poblados se enclavan en los cerros y lomeríos, el agua proviene de pequeños manantiales permanentes o escurrimientos entre las rocas ubicados en las barrancas o cejas. En las partes de mediana altitud (500 a 700 msnm), la presencia de manantiales disminuye drásticamente en número y en caudal. En las partes más bajas de las cuencas (< 500 msnm), los asentamientos se ubican en las riberas de los arroyos transitorios, obteniendo el agua desde donde esta almacenada en los estratos aluviales de los cauces (pseudo-acuíferos), mediante norias de hasta 6 u 8 m de profundidad. En la mayoría de los casos, las localidades cuentan con depósitos comunitarios de agua, a los cuales el agua es enviada ya sea por gravedad (desde los manantiales), o mediante

equipos de bombeo (desde las norias). La infraestructura para la captación, extracción, conducción, almacenamiento y distribución de agua desde las fuentes a los poblados y viviendas se encuentra en muy mal estado, con equipo obsoleto, fugas, roturas, y puntos potenciales de contaminación.

### **3.2.3 Los medios de actuación: instituciones locales y recursos materiales**

Los medios de actuación de interés se enfocaron en las instituciones locales y en los recursos materiales para el manejo de la calidad del agua. Las instituciones locales que tienen lugar en el medio rural mexicano son las autoridades ejidales (presidente ejidal, secretario, tesorero, consejo de vigilancia), y la asamblea de campesinos. Adicionalmente, por legitimidad de la jurisdicción municipal, cada asentamiento habitado cuenta con un encargado del orden que funge como enlace con el ayuntamiento. La cohesión y solidez de estas instituciones era variable entre las unidades agrarias donde se aplicó el programa, pero existía una tendencia muy marcada a la desarticulación y cese de sus funciones. Adicionalmente a estas figuras institucionales, se promovió la figura de técnico comunitario, un joven de la comunidad con tareas de apoyo a este programa y otros proyectos en marcha. El programa MCCA-BB buscó deliberadamente el fortalecimiento y consolidación de todas estas figuras institucionales consideradas clave en las propiedades emergentes del sistema.

## **3.3 FLUJOS DE ENTRADA: LA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN COLABORATIVA**

El Programa MCCA-BB fue conducido por un grupo externo integrado por miembros de una institución académica, el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México y una Organización de la Sociedad Civil, el Grupo Balsas AC. El CIGA cuenta con un Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua que puso a disposición junto con recursos humanos y técnicos. El Grupo Balsas trabaja en el área de estudio desde 2003 con amplia experiencia en enfoques participativos, y goza de una alta aceptación y confianza por parte de las comunidades locales. El financiamiento fue gestionado por ambos grupos, logrando también una estrategia mixta entre fondos públicos (gubernamentales) y privados (fundaciones).

La Estrategia de Intervención Colaborativa-Bajo Balsas (EIC-BB) fue el vehículo para el ingreso de MEI al sistema. Esta fue inicialmente diseñada con base en consideraciones sociales y técnicas documentados en diversos marcos conceptuales y metodológicos (Conrady Daoust 2008; Pollock y Whitelaw 2005; Vos et al. 2000). Sin embargo, tal diseño inicial fue ajustado a medida que esta fue desplegada, siendo especialmente enriquecida por la visión sistémica adoptada. En su formulación actual la EIC-BB quedó integrada por 22 actividades agregadas en tres fases (Preparación-, Validación y Aplicación) que atienden componentes sociales y técnicos. El tránsito de una fase a la otra se dio de manera progresiva o retroactiva, y algunas actividades fueron repetidas cuando las condiciones sociales o técnicas en marcha lo requirieron.

## **3.4 MEDICIÓN DEL CAMBIO: ATRIBUTOS, INDICADORES Y RESPUESTAS ESPERADAS**

Además de los datos generados por el muestreo regular de las fuentes de agua, se realizó el levantamiento de listas de asistentes a todas las actividades, datos personales de los involucrados, aplicación de encuestas estructuradas, sondeos rápidos mediante entrevistas orales (grabadas), y observación y evaluación por el grupo externo. En particular, se elaboró un instrumento para reconocer los niveles de dificultad del monitoreo desde la perspectiva de los monitores campesinos. Este consistió en un cuestionario estructurado con referencia a 17 tareas básicas valoradas de manera categórica (dificultad baja, media, alta y muy alta), que fue aplicado al finalizar el segundo año (septiembre de 2011) a una muestra de monitores.

La calidad del agua fue valorada estacionalmente en octubre (fin de época húmeda) y abril (fin de época seca) mediante variables físico-químicas y bacteriológicas determinadas in situ mediante técnicas aplicadas por los monitores comunitarios (ver abajo), y con determinaciones complementarias en laboratorio. La interpretación de datos se apoyó de un Índice de Calidad de Agua Bajo Balsas (ICA-BB) diseñado para integrar 12 variables incluidas en los análisis de rutina (pH, temperatura, CE, aniones y bacterias coliformes). El ICA-BB es de tipo aditivo (Montoya 1997; Pesce and Wunderlin 2000); con rango de variación entre 0 y 100 y con valores de ponderación ( $W_i$ ) de 1 a 5. El cálculo de los Índices por variable ( $I_i$ ) se realizó mediante las ecuaciones de conversión propuestas por Dinius (1987) y Pesce y Wunderlin (2000), cuyo desempeño fue revisado para la detección de anomalías mediante correlaciones entre los valores convertidos y los valores analíticos obtenidos de manera directa.

#### **4. RESULTADOS Y DISCUSION**

Durante la implementación del programa MCCA-BB se realizaron siete actividades participativas en campo. En este periodo se involucraron 326 campesinos de manera activa, dando cobertura al muestreo sincrónico en 47 fuentes de agua que soportan la vida de los habitantes locales.

##### **4.1 SUJETOS SOCIALES: PARTICIPACIÓN, HABILIDADES Y DESTREZAS**

El perfil de los participantes en los 15 ejidos, correspondió al género masculino (75 %), con una dominancia de personas entre 46 a 65 años (42 %). La clase de edad entre 30 y 45 años representó el 26 %; y el involucramiento de jóvenes (14 a 29 años) y adultos > 65 años correspondió al 15 y 17 %, respectivamente. El nivel de escolaridad reportó un 25 % de analfabetas, un 21 % de participantes con primaria inconclusa y un 22 % con primaria completa. El 63 % de participantes fueron campesinos o familiares (hijos, mujeres) con derechos sobre la tierra en el ejido. Los restantes fueron habitantes locales que rentan o trabajan tierras prestadas. El perfil de los involucrados fue importante pues dio pautas para el ajuste continuo de la estrategia de intervención (Pollock y Whitelaw 2005).

En las siete actividades participativas en campo se registró una asistencia promedio por grupo social de 21.7 personas, con una variación entre 6 y 94 personas; lo que reveló la existencia de niveles diferenciales de involucramiento, dando pie a la formulación de categorías de participación. Una primera categoría, que denominamos 'monitores nucleares' (Mn), incluyó a personas que participaron más del 50 % de las actividades realizadas (dominan la técnica y registro de datos). En

esta categoría se ubicaron entre 1 a 8 participantes por sistema primario (Tabla 1). Una segunda categoría fue llamada ‘monitores periféricos’ (Mp), refiriendo a quienes participaron en menos del 50 % de las actividades, pero que acompañaron y apoyaron a los Mn (entienden la actividad pero no dominan todavía la técnica o el registro de datos). En esta categoría se ubicaron entre 2 y 87 personas por grupo social (Tabla 1). Además de estos dos niveles se reconoció un tercer nivel denominado ‘población observadora’ (Po), en donde se incluyen las personas >15 años que habitan la comunidad, que no participaron activamente en las actividades, pero que sin embargo están enteradas de éstas. La Po recibe información desde cualquiera de los niveles de participación mediante los canales internos de comunicación comunitaria (asambleas, reuniones comunitarias, relaciones de parentesco y vecindad), por lo que es formadora de opinión y participa en la toma de decisiones locales o en las acciones colectivas emprendidas. Estas categorías fueron plasmadas en un modelo conceptual de dinámica de la participación presentado en la Figura 2. Este modelo es la base para valorar las propiedades dinámicas dadas por la movilidad de personas entre las categorías.

El aprendizaje operacional (habilidades y destrezas) que es requerido para llevar a cabo las tareas del muestreo regular de calidad de agua fue valorado con el indicador Dificultad percibida (Dp) por los propios monitores sobre las tareas implicadas. El indicador Dp, calculado a partir del cuestionario aplicado a 54 monitores para recoger la dificultad percibida sobre 17 tareas-, mostró que sobre un universo de 918 respuestas (54 encuestados por 17 preguntas), el 45 % de éstas se ubicaron en el nivel medio de dificultad, con un 33 % en el nivel bajo. Las frecuencias de las respuestas indica que las tareas de obtención de muestras y determinación en campo fueron percibidas por los monitores campesinos con un Nd bajo y medio, mientras que aquellas relacionadas con la cultura escrita y el manejo de tecnología de computo, recibieron valoraciones de dificultad mayores.

#### **4.2 OBJETO DEL MONITOREO: CONDICIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO**

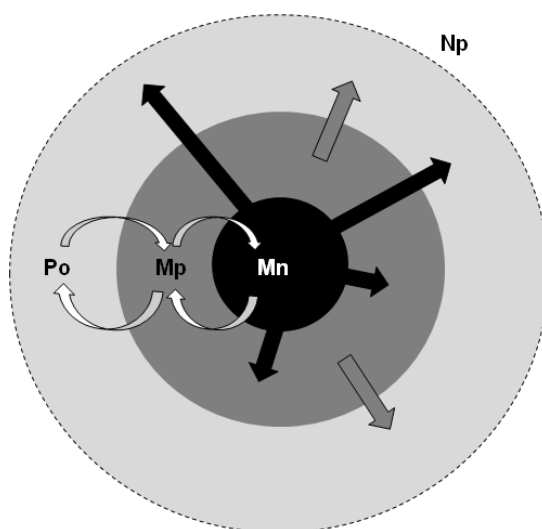
Las 47 fuentes de agua para uso doméstico correspondieron a 20 manantiales y 27 norias. El ICA promedio de los tres años para cada una, calculado para la estación seca y la de lluvias, mostró que el 81% de las fuentes ofrecen un agua de calidad buena a muy buena (Figura 3). El 19 % restante se ubicó como de calidad regular a mala, debida principalmente a la presencia de bacterias coliformes totales y E. coli, y valores altos en variables como dureza y turbidez. El 68 % de los sitios muestreados presentó una mejor calidad de agua en época seca, si bien estas variaciones fueron menos marcadas en los manantiales que en las norias.

**TABLA 1.** Valores de los indicadores (variables-estado) para el periodo 2010-2012.

Nombre del sistema primario	Acronimo	Monitores nucleares		Monitor esperife ricos	Poblacion observado ra (> 15años)	Particip acionrel ativa	Nivelgrup al de entrenami ento	Monitores con cargo social
		Mn (#)	Mp (#)	Po (#)	PR (%)	Ne (%)	Ms (#)	
Algodón de Oropeo	AO	1	9	295	3.4	24.3	4	
Cayaco	CA	2	10	287	4.2	20.2	4	
Cumuato	CU	1	6	72	9.7	18.4	6	
David Manjarrez	DM	1	9	85	11.8	18.6	4	
El Baral	EB	8	28	65	55.4	29.0	8	
El Capirito	EC	4	2	116	5.2	45.2	7	
El Platanar	EP	1	19	128	15.6	20.0	7	
El Salitre	ES	7	87	511	18.4	20.1	10	
Guadalupe Oropeo	GO	4	35	248	15.7	19.0	8	
Juntas de Poturo	JP	1	6	101	6.9	26.5	4	
Los Copales	LC	3	9	193	6.2	26.2	5	
Ojo de Agua	OA	3	5	71	11.3	37.5	5	
Poturo	PO	7	16	818	2.8	29.2	11	
Santa Rosa	SR	3	31	42	81.0	20.6	5	
Sinahua	SI	3	5	93	8.6	28.6	6	
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>49</b>	<b>277</b>	<b>3125</b>			<b>94</b>	
<b>PROMEDIO</b>					<b>17.1</b>	<b>25.6</b>		
<b>DS</b>					<b>21.81</b>	<b>7.67</b>		
<b>CV</b>					<b>127.7</b>	<b>30.0</b>		

### 4.3 ESTRUCTURACIÓN DE LOS MEDIOS DE ACTUACIÓN

La incidencia en los medios de actuación se reflejó en la articulación del programa MCCA-BB con las instituciones locales por un lado; así como en la visualización de la necesidad de recursos materiales (RM) disponibles para manejo de las fuentes del agua, por el otro. En cuanto a las instituciones locales, 95 monitores participantes fueron también personas que desempeñaban cargos sociales en sus comunidades (Ms), lo cual representó el 28% del total de monitores (Tabla1). Estos Ms, con una edad promedio de 47 años, abarcaron el 55 % del total de cargos sociales existentes en las estructuras organizativas de las quince unidades agrarias, indicando una masa crítica importante de dirigentes locales involucrados. Esto llevó a que temas de calidad de agua sean incluidos en los espacios comunitarios de discusión y toma de decisiones. Por su parte, los RM destinados al manejo de la calidad del agua fueron incrementándose durante el desarrollo del programa, por el propio interés de las instituciones locales quienes destinaron presupuesto del proyecto regional concurrente, así como aportaron materiales locales y mano de obra, y se dotaron de equipamiento (por ejemplo, bombas de succión para limpieza de norias, filtros, entre otros), que permitieron materializar acciones directas sobre las fuentes de agua. El traslado de los datos colectados hacia acciones de manejo para la sustentabilidad es una preocupación presente en el CBM (Deutsch et al. 2005; Conrad y Hilchey, 2011) y este modelo puso en evidencia el papel que los medios de actuación como componente sustancial ocupan para posibilitar estos procesos a nivel focal y supra-focal, sin embargo estos no siempre son considerados en los análisis realizados, ni ubicados en las EI diseñadas.



**FIGURA 2.** Modelo conceptual de la dinámica de participación de los grupos sociales para el monitoreo del agua en comunidades campesinas. Mn: monitores nucleares, Mp: monitores periféricos y Po: población observadora. Flechas gruesas: flujo de información sobre la calidad del agua. Flechas blancas: movilidad entre categorías de participación.

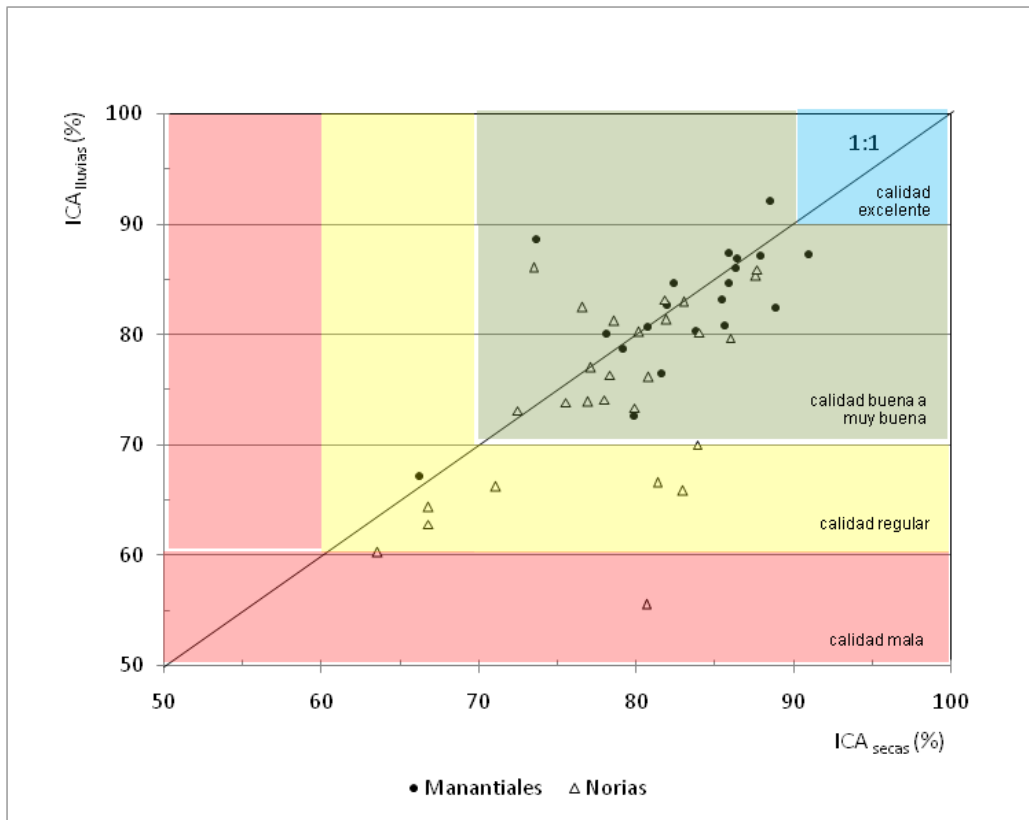
### 4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS EN EL SISTEMA PRIMARIO

En general, el proceso de administración de datos se expandió en todos sus componentes, indicando limitaciones fácilmente solucionables con el desarrollo de aprendizaje operacional y significativo, y

mejoras menores en aspectos de logística llevados por el grupo externo. Los datos generados por los monitores con baja escolaridad mostraron un nivel suficiente de confiabilidad, tal como ya fue reconocido en experiencias similares (Nicholson et al. 2002; Deutsch et al. 2007). Nicholson et al. (2002) además, destaca la importancia de sumar datos razonablemente aceptables sobre calidad de agua, en áreas donde no existen registro hechos por profesionales. En el caso de estudio, la confiabilidad de los datos fue en aumento a medida que el programa avanzó en su implementación. El contacto de los monitores con el portal WEB diseñado fluyó de manera intuitiva, lamentablemente, el acceso a Internet en el área de trabajo es muy bajo lo cual prácticamente inhabilita este medio para el manejo de información. El proceso de interpretación de datos fue asistido por el grupo externo bajo diferentes formatos (narrativa, cuadros, graficas); sin embargo, la entrega de los datos generados en laboratorio a las autoridades comunitarias y grupos de monitores se dificultó por el bajo acceso y comunicación, asunto que no pudo ser subsanado en el periodo examinado.

El aprendizaje social al interior de una unidad social tuvo lugar dentro de los grupos de monitores, las interacciones entre estos y el resto de la comunidad, así como por la interacción con el grupo externo (técnicos académicos y de la OSC). La manifestación de este aprendizaje social es una propiedad intangible por ello difícil de capturar. La asimilación y toma de decisiones surgió rápidamente después de la interpretación de datos. El involucramiento de personas con cargos de representación social y la interpretación de datos in situ, ayudó a la independencia de los grupos sociales para actuar. Los procesos de acción directa, por un lado, y vinculación con actores externos, por el otro, se manifestaron con más claridad recién a tres años de la implementación del programa. Las acciones directas emergieron con más presencia, aunque también se manifestaron algunas gestiones ante las autoridades municipales. Quedo claro que la relación entre el dato, la decisión y la actuación está fuertemente condicionada por las instituciones locales funcionales y los RM disponibles.





**FIGURA 3.** Valores del Índice de Calidad de Agua (%) como para la época seca y la época húmeda. Calculado con 12 variables medidas en 47 fuentes de agua. Fuentes de agua: manantiales (círculos negros) y norias (triángulos blancos).

#### 4.5 PROPIEDADES EMERGENTES EN LOS SISTEMAS PRIMARIOS (NIVEL FOCAL)

En los sistemas primarios, los atributos de las tres propiedades emergentes seleccionadas como importantes mostraron cambios positivos. En lo que refiere a la auto-organización comunitaria, la dinámica de la participación en las actividades del programa, -comparada entre dos periodos de 18 meses cada uno-, indicó un flujo centrífugo desde la categoría de Po hacia Mp y Mn (Figura 2), en 14 de los 15 sistemas primarios (datos no presentados). Las estructuras del sistema, sociales y materiales, mostraron un cambio positivo en su presencia y continuidad. Las instituciones locales agrarias fortalecieron su funcionalidad, y en un número grande de casos incorporaron información sobre la calidad del agua como elemento de análisis en reuniones y asambleas para la toma de decisiones. En cuanto a las estructuras físicas, estas se incrementaron notablemente en forma de protección a las fuentes tales como cercos perimetrales para exclusión de ganado, mejora en cerramientos, sistemas de filtrado de agua, reparaciones en cajas de captación y depósitos deteriorados y expuestos a focos de contaminación. Esto fue facilitado por la disponibilidad de recursos económicos provista por el proyecto regional concurrente y recursos locales provistos por las mismas comunidades, que permitieron la materialización de las decisiones tomadas.

## **5. CONCLUSIONES**

En los primeros tres años de implementación, el programa de Monitoreo Comunitario de la Calidad del Agua en el Bajo Balsas (MCCA-BB) mostró resultados que indicaron cambios en los atributos sistémicos que muestran una trayectoria hacia los resultados esperados. Esto dio pautas de los aciertos en la estrategia de intervención (EI), aplicada en un contexto socio-ambiental particularmente adverso. Así también, el examen sistémico evidenció debilidades que pudieron ser corregidas en tiempo real, aumentando su adaptabilidad y eficiencia. Este ejemplo ilustra la importancia de que los programas de CBM hagan explícitas las EI que aplican. En términos generales, los resultados muestran similitudes con los impactos reportados para experiencias de CBM en diversas partes del mundo, si bien las comparaciones están dificultadas por la escasa documentación existente. El perfil de los grupos de monitores quedó bien establecido en este estudio, algo fundamental para establecer sus alcances y limitaciones, así como restricciones sobre las propiedades emergentes. Iniciativas de programas de CBM en áreas rurales del mundo se asemejan en el perfil de sus integrantes y en las problemáticas de rezago, lo cual, - por contraste con iniciativas en áreas urbanas y en países centrales-, ofrece un sub-conjunto de particularidades dentro de este fenómeno socio-ambiental que ameritan profundizar en su entendimiento. La visualización del componente denominado 'medios de actuación' en el sistema primario, y las relaciones entre este y otros componentes, i.e. acciones, vinculación con actores externos, es una contribución importante.

El modelo sistémico del CBM aquí propuesto es un punto de partida que puede mejorarse, para establecer un lenguaje común para el estudio, explicación y prospección de este fenómeno. Como se demostró con este caso, este enfoque permite superar el análisis acotado a la evaluación de los datos biofísicos como principal producto y el relato anecdótico o desarticulado de los hechos sociales que le dan vida. A modo de reflexión final, un regreso al CBM como un fenómeno de interface entre la ciencia y la sociedad. La consolidación del reconocimiento de este fenómeno socio-ambiental, tanto como un objeto de estudio o como una vía de movilización social hacia sociedades sustentables, requiere consolidar enfoques y abordajes que permiten su escrutinio científico, así como la revisión y discusión en una comunidad extendida (no pares).

## **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras agradecen extensivamente al Grupo Balsas A.C. por el trabajo mancomunado para implementar el programa de "Monitoreo Comunitario de la Calidad del Agua en el Bajo Balsas". Asimismo, se extiende el mayor agradecimiento al conjunto de campesinos y campesinas, dirigentes locales y técnicos comunitarios de las comunidades rurales participantes, que de manera abierta y entregada sumaron su esfuerzo y dedicación para sostener la continuidad de este programa. Hugo Zavala y Francisco Sánchez atendieron el diseño y puesta en línea del portal WEB para la administración y manejo de datos. Este proyecto fue desarrollado con financiamiento del Fondo Mixto CONACYT-Estado de Michoacán (Proyecto 115454) en los años 2010 -2011, y sostenido con el apoyo continuo de la Fundación Gonzalo Rio Arronte (FGRA) a través del Grupo Balsas A.C.

## REFERENCIAS

- Becker, C. D, Agreda, A., Astudillo, E., Costantino, M., & Torres, P. (2005). Community based monitoring of fog capture and biodiversity at Loma Alta, Ecuador enhance social capital and institutional cooperation. *Biodiversity and Conservation*, 14, 2695-707.
- Björkmanand, M., &Svensson, J. (2009). Power to the people: evidence from a randomized field experiment on community-based monitoring in Uganda. *Quarterly Journal of Economics*, 124, 735-769
- Bliss, J., Aplet, G., Hartzell, C., Harwood, P., Jahnige, P., Kittredge, D., Lewandowski, S., &Soscia, M. L. (2001) Community-based ecosystem monitoring, *Journal of Sustainable Forestry*, 12, 143–167.
- Brown P.R., Jacobs B. &Leith P. (2012). Participatory monitoring and evaluation to aid investment in natural resource manager capacity at a range of scales.*Environmental Monitoring and Assessment* 184, 7207-7220.
- Conrad, C., &Daoust, T. (2008). Community-based monitoring frameworks: Increasing the effectiveness of environmental stewardship. *Environmental Management*, 41, 356–358.
- Conrad, C., &Hilchey, K. (2011). A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176, 273-291.
- Danielsen, F., Burgess, D. N., Balmford, A., Donald, F. P., Funder, M., Jones, G. J., Alviola, P., Balete, S. D., Blomley, T., Brashares, J., Child, B., Enghoff, M., Fjelds<sup>o</sup>a, J. Holt, S., H<sup>u</sup>bertz, H., Jensen, E. A., Jensen, P., Massao, J., Mendoza, M. M., Ngaga, Y., Poulsen, K. M., Rueda, R., Sam, M., Skielboe, T., Stuart-Hill, G., Topp-Jørgensen, E., &Donten Y. (2008). Local Participation in Natural Resource Monitoring: a Characterization of Approaches. *Conservation Biology*, 23, 31–42.
- Deutsh, W. G., Busby, L. A., Orprecio, L. J., Bago-Labis, P. J., &Cequiña, Y. E. (2005). Community-based hydrological and water quality assessment in Mindanao, Philippines. In: Bonell, M and L. A. Bruijnzeel. *Forest, water and people in the humid tropics: past, present and future hydrological research for integrated land and water management*. New York: Cambridge University Press.
- Dinius, S. H. (1987). Desing of an index of water quality. *Water Resource Bulletin*, 23, 833-843.
- DucThang, N., Erhart, A., Le Xuan, H., Le Khanh T., Thuan Nguyen, X., Nguyen Ngoc, T., Pham Van K., Coosemans, M., Speybroeck, N., & D'Alessandro, U. (2009). Rapid decrease of malaria morbidity following the introduction of community-based monitoring in a rural area of central Vietnam.*Malaria Journal*, 8, 3.
- Eksvärd, K., & Rydberg, T. (2010).Integrating participatory learning and action research and systems rcology: A potential for sustainable agriculture transitions.*System Practice & Action Research* 23: 467-486.
- Fernandez-Gimenez, M.E., Ballard, H. L., &Surtevant, V. E. (2008). Adaptive management and social learning in collaborative and Community-Based Monitoring: a study of five community-based forestry organizations in the western USA.*Ecology & Society*, 13, 4.
- Gallopín G.C., P. Gutman, and Maletta, H. (1989). Global Impoverishment, Sustainable Development and the Environment: A Conceptual Approach, *ISSJ*, 121, 375-397.
- Giampietro, M., & Mayumi, K. (1997). A dynamic model of socioeconomic systems based on hierarchy theory and its application to sustainability. *Structural Change and Economic Dynamics*, 8, 453-469.
- Holling, C.S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems.*Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.
- Kay, J., Regier, H., Boyle, M., and Francis, G. (1999). An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge of complexity. *Futures*, 31, 721–742
- Maass, M., & Burgos, A. (2011).Water Dynamics at the Ecosystem Level in Seasonally Dry Tropical Forests. In: Dirzo, R., Mooney, H., Ceballos, G., Young, H. (Ed.), *Seasonally Dry Tropical Forests: Ecology and Conservation* (pp. 141-156). Washington, DC: Island Press.
- Montoya, H.A., Contreras S. C., &García, R. M. V. (1997). Estudio Integral de la Calidad del Agua en el Estado de Jalisco. Com. Nal. Agua.,Geren. Reg. LermaSantiago. Guadalajara. 106 pp.

- Nare, L., Love, D. & Hoko, Z. (2006). Involvement of stakeholders in the water quality monitoring and surveillance system: the case of Mzingwane Catchment. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, 707-712.
- Nicholson, E., Ryan, J., & Hodgkins, D. (2002). Community data\_ where does the value lie? Assessing confidence limits of community collected water quality data. *Water Science and Thechnology*, 45, 193-200.
- Pesce, F. S., & Wunderlin, A. D. (2000). Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquia River. *Water Reserch*, 34, 2915-2926.
- Pollock, R. M. & Whitelaw, G. S. (2005). Community based monitoring in support of local sustainability. *Local Environment*, 10, 211-228.s
- Pretty, J. & Ward, H. (2001). Social capital and the environment. *World Development*, 29, 209-227.
- Savan, B., Morgan, A., & Gore, C. (2003). Volunteer environmental monitoring and the role of the universities: The case of citizen's watch. *Environmental Management*, 31, 561-568.
- Savan, B. (2004). Community-university partnerships: Linking research and action for sustainable community development. *Community Development Journal* 39, 372-384.
- Van Rijsoort, J., & Jinfeng, Z. (2005). Participatory resource monitoring as a means for promoting social change in Yunnan, China. *Biodiversity and Conservation*, 14, 2543-73.
- Vos, P., Meelis, E., & Keurs, W. J. (2000). A framework for the design of ecological monitoring programs as a tool for environmental and nature management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 61, 317-344.

# MONITOREO DE MANANTIALES: UN MÉTODO PARTICIPATIVO EN LA PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE ACUERDOS COMUNITARIOS

REYES MUÑOZ, Yoali; ORGANISTA MOTA, Rafael; URBÁN LAMADRID, Germán; y VARGAS, Ramón.

Grupo de Estudios Ambientales y Sociales, AC.  
[gea@laneta.org.apc](mailto:gea@laneta.org.apc), [yoa.rmoz01@gmail.com](mailto:yoa.rmoz01@gmail.com), [rafaelorgmota@gmail.com](mailto:rafaelorgmota@gmail.com).

## RESUMEN

El GEA<sup>1</sup> y comunidades rurales de las regiones Centro y Montaña de Guerrero impulsan un proyecto regional orientado a enriquecer el manejo de los recursos naturales, buscar las soberanías hídrica y alimentaria e incrementar la resiliencia en las comunidades y la región. La línea Coatl del proyecto procura el mejoramiento del manejo comunitario del agua, para lo cual despliega, entre otras acciones, el monitoreo participativo de fuentes de agua.

La región de trabajo abarca las microcuencas Chilapa-Zitlala y Las Joyas, en la cuenca del río Balsas, y la microcuenca Limontitlán, en la cuenca del río Papagayo. En 56 fuentes de agua de 14 comunidades, siempre con la participación de actores sociales locales, se cuantificaron el caudal o el volumen, la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos, y se tomó nota de las características ambientales del área y de las normas locales de uso del agua.

A partir del análisis de los datos de sus manantiales y pozos y de su experiencia en cuanto a la gestión del recurso, tres comunidades modificaron sus acuerdos sobre el uso y la distribución del agua y once los refrendaron. El monitoreo también les dio oportunidad de analizar la dinámica hídrica local, identificar áreas de recarga, fortalecer sus instituciones encargadas del agua y verificar que las obras de conservación de suelo y agua construidas en su territorio han incrementado el caudal de sus manantiales.

El agua es concebida por los pueblos como un recurso de todos y protegida con hechos sustentados en el valor de la palabra de las personas y de los acuerdos dentro y entre las comunidades.

**Palabras clave:** monitoreo participativo, manantiales, acuerdos intra e intercomunitarios.

## 1. ANTECEDENTES

En las marginadas regiones Centro y Montaña de Guerrero, el GEA y una veintena de comunidades están implementando el Proyecto Regional de Manejo Campesino Sustentable de Recursos Naturales y Sistemas Alimentarios, cuyos objetivos son:

---

<sup>1</sup> El Grupo de Estudios Ambientales, AC, y el Grupo de Estudios Ambientales y Sociales, AC, son reconocidos en conjunto con la sigla GEA.

- Fortalecer las capacidades de familias, comunidades y organizaciones locales con herramientas técnicas que les ayuden a mantener el control de sus territorios y recursos naturales y a tomar mejores y más informadas decisiones sobre su manejo.
- Promover procesos que garanticen agua y alimentos buenos, suficientes y para siempre, con el fin de impulsar las soberanías alimentaria e hídrica en las comunidades y la región.
- Identificar y consolidar recursos, prácticas y técnicas relevantes para incrementar la resiliencia y la adaptación comunitaria y regional a los cambios ambientales y sociales de nuestros tiempos.

El proyecto es un esfuerzo que integra la investigación aplicada, el intercambio de experiencias y la planeación del uso del territorio en los niveles comunitario, de cuenca y regional; que involucra a hombres, mujeres, niños, jóvenes, estudiantes y maestros en actividades de aprendizaje y labores prácticas dirigidas a mejorar la calidad de la vida y el ambiente; y que se articula en las siguientes líneas de trabajo:

*Coatl*: manejo comunitario del agua (proyecto Agua Compartida para Todos).

*Tepec*: manejo del monte y la biodiversidad.

*Tlalli*: agricultura campesina.

*Wakax*: manejo del ganado.

*Chantli*: casas y solares.

*Atzintli*: agua y saneamiento en escuelas.

*Educación, arte e identidad*.

El monitoreo participativo de las fuentes de agua de las comunidades se inscribe en la primera línea, *Coatl*, y tiene por objetivo mejorar la gestión intra e intercomunitaria del agua mediante la provisión de datos cuantitativos de los pozos y manantiales y la promoción del análisis y del consecuente ajuste o ratificación por las instituciones locales de los acuerdos relativos al manejo del agua.

## **1.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS MICROCUENCAS**

Las comunidades a las que el GEA brinda acompañamiento se encuentran en la cuenca del río Balsas-Mezcala y en la cuenca del río Papagayo.



**Mapa 1.** Localización de la Región Hidrológica 18 Balsas-Mezcala.

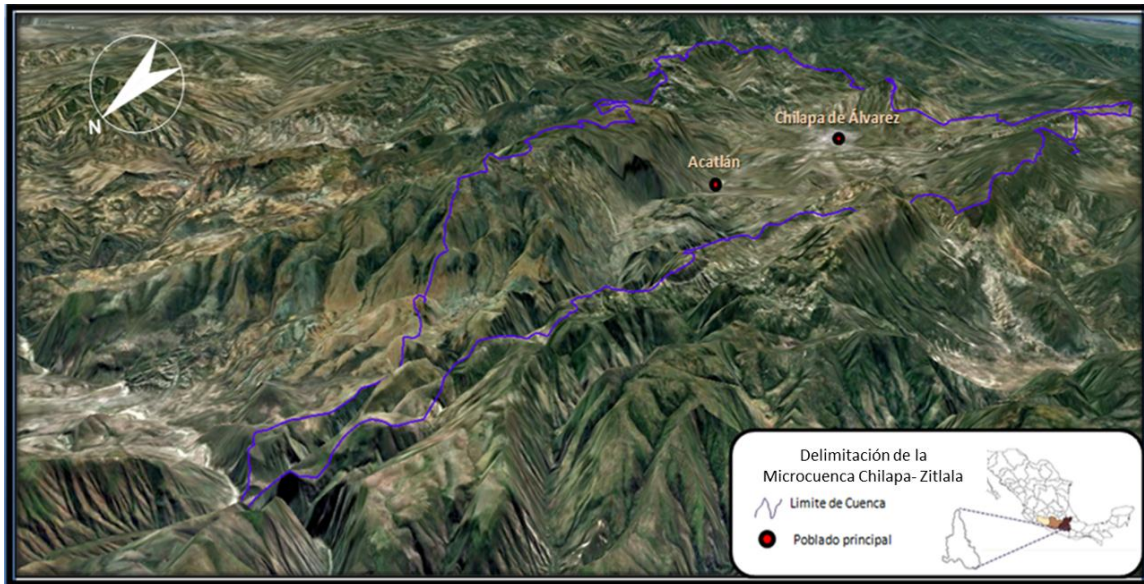
De acuerdo con la clasificación de la Comisión Nacional del Agua, la cuenca Balsas-Mezcala es la Región Hidrológica 18. La zona de estudio se encuentra en la sección Alto Balsas, y corresponde a las microcuencas Chilapa-Zitlala y Las Joyas; la primera abarca los municipios de Chilapa y Zitlala, y la segunda los de Ahuacutzingo y Atlixnac.

La microcuenca Limontitlán pertenece a la Región Hidrológica 20, Costa Chica, específicamente a la cuenca del río Papagayo, y sólo abarca los territorios de El Jagüey, San Ángel y Xilosuchican, en el municipio de Chilapa y Quechultenango

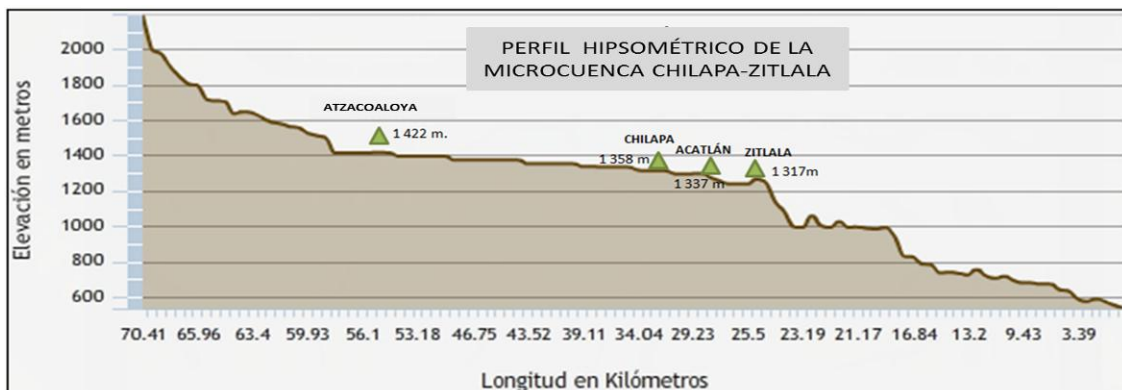
### **Microcuenca Chilapa-Zitlala**

La microcuenca, de 549.61 km<sup>2</sup>, es conocida oficialmente como Tetlanapa y como Chilapa-Zitlala por sus pobladores participantes en el proyecto.

**Mapa 2.** Delimitación de la microcuenca Chilapa-Zitlala sobre una imagen de satélite.



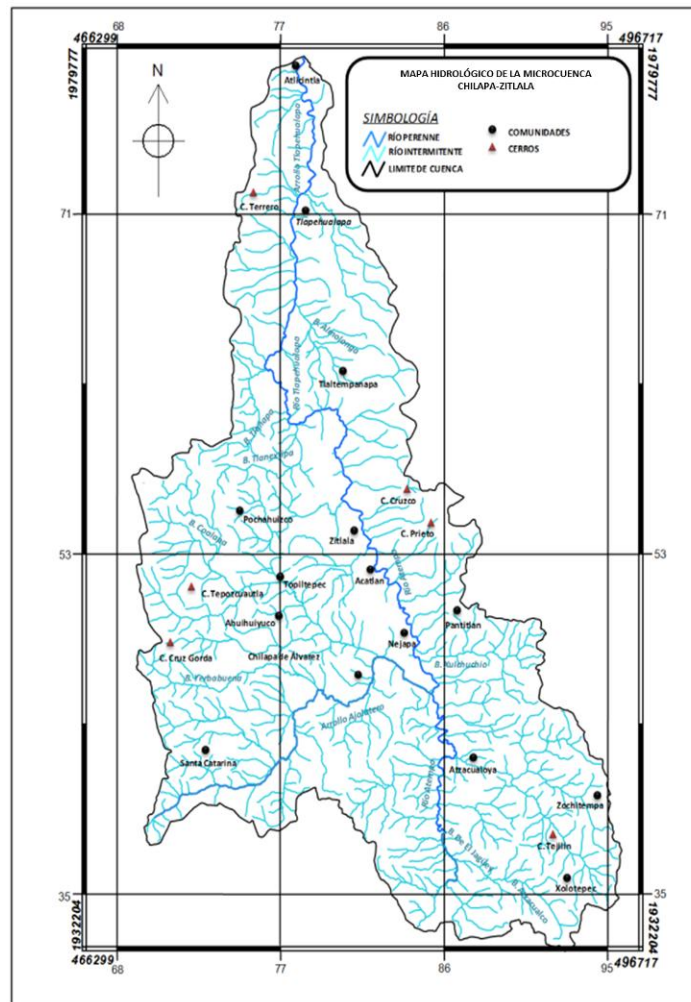
El río principal, Atempa, alcanza 70.4 km de longitud, su pendiente media es de 2.3 % y su tiempo de concentración de 7 horas 24 minutos. Surge en los cerros de los bienes comunales de Atzacoyaloya, a los 2 192 msnm, en el sur de la microcuenca. Desciende cerca de Nejapa, más abajo pasa por Chilapa, Acatlán y Zitlala, y reúne más aguas de la microcuenca hasta desembocar en el Balsas cerca de Atlicintla, a los 540 msnm.



**Perfil 1.** Perfil del cauce principal de la microcuenca Chilapa-Zitlala.

La segunda corriente relevante nace en el sureste de la microcuenca, en los cerros de Tenexatlajco y Zoquiapan, con el nombre de Ajolotero, y baja por Santa Ana y Xochimilco hasta reunirse en la ciudad de Chilapa con el río Atempa.

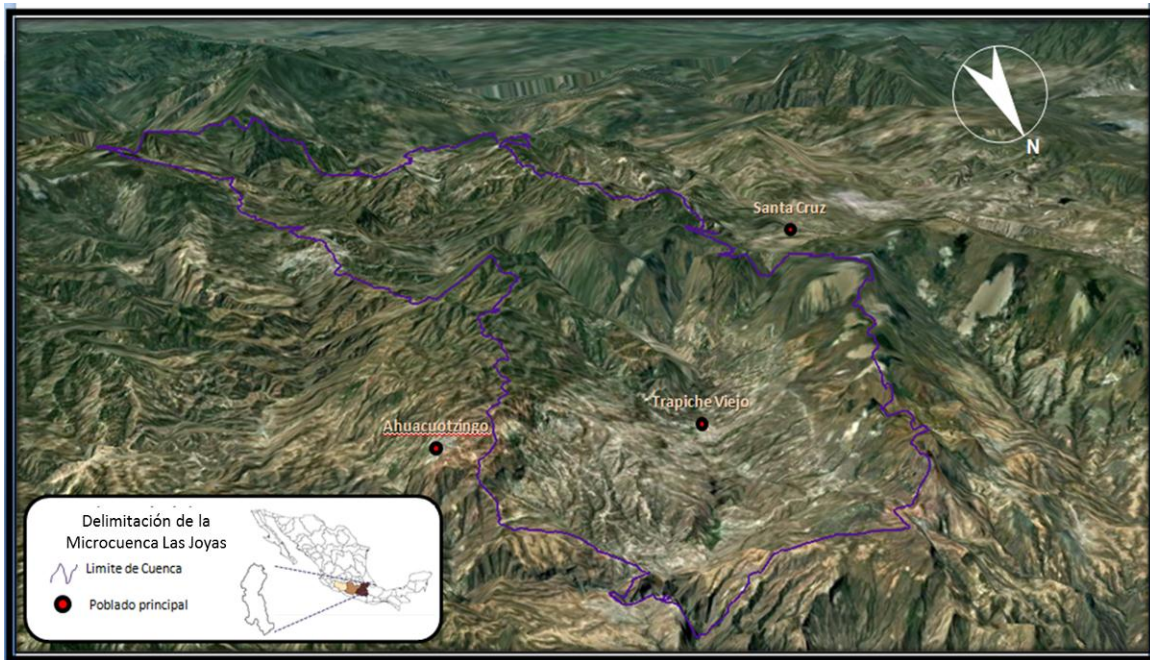




Mapa 3. Mapa hidrológico de la microcuenca Chilapa-Zitlala.

## 1.2 Microcuenca Las Joyas

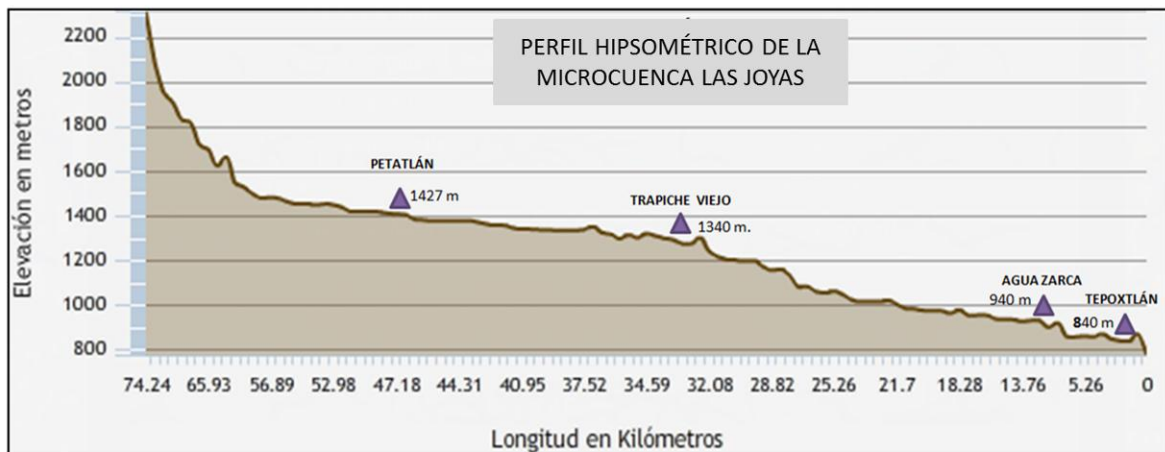
Cubre 487.25 km<sup>2</sup>, tiene como nombre oficial Pachumeco y las comunidades que toman parte en el proyecto la han renombrado Las Joyas.



**Mapa 4.** Delimitación de la microcuenca Las Joyas sobre una imagen de satélite.

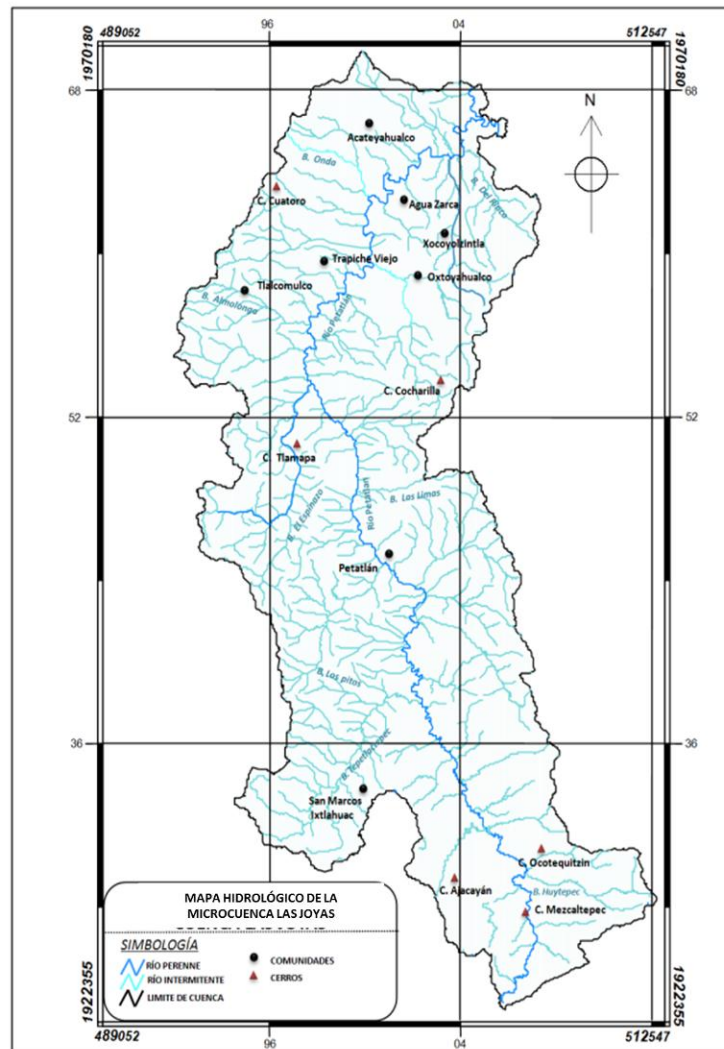
Su río principal tiene una longitud de 74.25 km, una pendiente media de 2.05 % y un tiempo de concentración de 8 horas y siete minutos. Surge a los 2 311 msnm, en Atlixnac, donde es nombrado Cuanintzin, mientras que en las partes medias de la microcuenca es conocido como Tioxapan y en las bajas como Petatlán. Pasa por Petatlán, Santa Isabel, Zoyapexco, Trapiche Viejo, Agua Zarca y la Hierba Buena, hasta reunirse a los 782 msnm con el río Pochutla, que proviene de las cimas de Ahuacuotzingo y desemboca en el Mezcala.

**Perfil 2.** Perfil del cauce principal de la microcuenca Las Joyas.



En Santa Cruz nace una corriente de agua, conocida como río de Pantitlán y Santa Cruz; que se pierde en el resumidero de Pantitlán, y tras cruzar los cerros aflora en terrenos de Tecuanapa y continúa su curso hasta Tlalcomulco para después unirse al río Petatlán a la altura de Trapiche Viejo.

La Barranca de los Ahuejotes, es otra de las corrientes importante que baja de las partes altas de Ahuacuotzingo; recoge las aguas de Oxtoyahualco, Xocoyolintla y Agua Zarca; y en el noreste de la microcuenca desciende hasta reunirse con el río Petatlán a la altura de Tepoxtlán.



**Mapa 5.** Mapa hidrológico de la microcuenca Las Joyas.

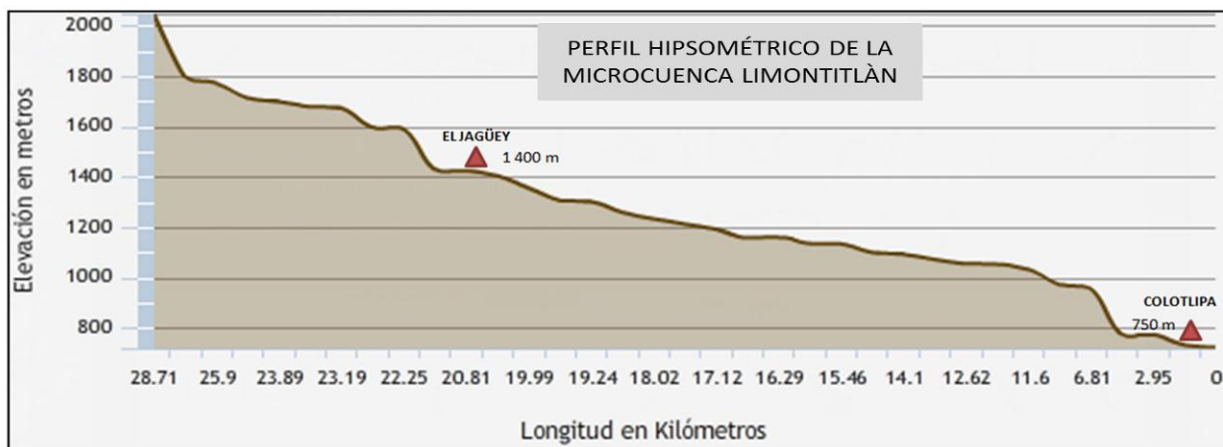
### 1.3 Microcuenca Limontitlán

Cuando El Jagüey comenzó a participar en la línea Coatl con planeaciones y trabajos en su territorio ejidal se delimitó y nombró la microcuenca en la que se inscribe, Limontitlán, de 180 km<sup>2</sup>.



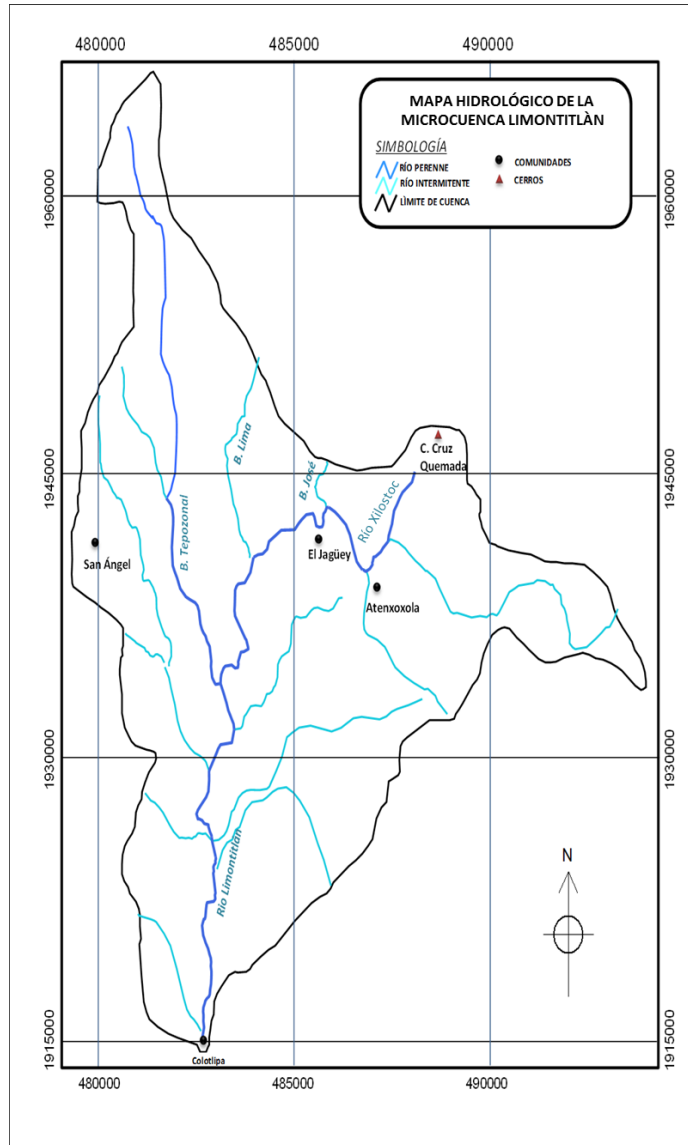
**Fotografía 1.** Vista panorámica de las tierras de El Jagüey, desde su extremo norte.

Su cauce principal, el Limontitlán, tiene una longitud de 28.70 km, una pendiente media de 4.5 % y un tiempo de concentración de 2 horas y 49 minutos. Cerca de Colotlipa se reúne con el río Azul, afluente del Papagayo.



**Perfil 3.** Perfil hipsométrico de la microcuenca Limontitlán.

El río Xilostoc nace a los 1 930 msnm en terrenos de Atenxoxola y Atzacaloya, baja entre los ejidos El Jagüey y San ángel, se reúne con las aguas de las barrancas El Coyule y La Lima, de El Jagüey, y finalmente converge con las de la barranca El Cahuilotal para dar origen al río Limontitlán.



**Mapa 6.** Mapa hidrológico de la microcuenca Limontitlán.

## 2. MÉTODOS DEL MONITOREO

Se recorrieron, en secas y en lluvias, 14 territorios comunitarios de las tres microcuencas junto con actores sociales locales: comités de vigilancia, comités de agua, comités de iglesia, autoridades ejidales y municipales, unidades de riego, jueces de agua, entre otros. En 56 fuentes de agua se midieron caudales y volúmenes, se cuantificaron parámetros fisicoquímicos y se tomó nota de las características del relieve, la ubicación geográfica, la vegetación y el suelo, así como sobre las normas de administración y cuidado del agua dentro y entre las comunidades.



**Fotografía 2.** Comité de Agua de Ahuihuiyuco visitando el pozo de La Carretera.

Para estimar el gasto de los manantiales se emplearon un reloj y recipientes de volumen conocido: cubetas de 6, 12 o 20 litros, envases de refresco o vasos de plástico. En manantiales formados por varios brotes éstos se represaron para obtener y cuantificar un solo flujo. Conocidos el volumen del recipiente y el tiempo que tardó en llenarse, se divide el volumen entre el tiempo, expresado en segundos, para determinar el flujo en litros por segundo, el que después se convierte a litros por minuto. Se explicó a los actores locales que la fórmula empleada es  $G=V/T$ , en la cual G es el gasto en litros por segundo, V el volumen del recipiente en litros y T el tiempo en que se llena el recipiente en segundos.

Para calcular el volumen del agua almacenada en los pozos se midieron el diámetro del pozo y la distancia del fondo del pozo al nivel del agua y se aplicó la fórmula; en la cual V es el volumen en litros, r es el radio del pozo en metros y h la altura de la columna de agua en metros.

Fórmula:

$$V = \pi r^2 h$$

$\pi$  = Es igual a 3.14

$r$ = Radio, es la distancia desde del borde exterior hacia el centro del pozo, en metros.

$h$ = Altura de agua en metros.

A fin de disponer de datos del gasto de pozos poco profundos, se identificó en la pared de cada pozo una marca que indicara la altura del agua, se sacó un poco del líquido con una cubeta y con un reloj se obtuvo el tiempo que tardó el agua en recuperar su nivel.

En las fuentes de agua se determinaron el pH, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos y la temperatura con un conductivímetro digital HANNA modelo HI 98129. Se informó a los actores locales que el pH es una medida de la acidez o la alcalinidad del agua, que la conductividad

eléctrica es la capacidad del agua para transmitir la corriente eléctrica y da idea de la cantidad de sales disueltas en ella, que los sólidos disueltos totales son las pequeñas partículas orgánicas y minerales que se encuentran en el agua, y que a una mayor temperatura del agua por lo común corresponde un aumento en la solubilidad de los sólidos y una disminución en la solubilidad de los gases.

## 2.1 ALGUNAS EXPERIENCIAS RELEVANTES

A partir de los datos de las fuentes de agua levantados en el monitoreo, en las comunidades tomaron lugar procesos de reflexión y análisis sobre la gestión del recurso. En seguida ofrecemos algunos ejemplos al respecto.

**Tabla 1.** Datos fisicoquímicos de cuatro fuentes de agua de tres comunidades.

Comunidad	Fuente de agua	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Sólidos disueltos		Gasto-Volumen (l/min)	Fecha
					ppt	mg/l		
El Jagüey	Agua Salada	27.0	6.75	2.48	1.20	1 200	20.00	Agosto del 2010
	El Amate						48.00	Septiembre del 2010
La Candelaria	Amitoxco	24.7	7.17	0.90	0.45	450	9313.00	Agosto del 2010
Tenexatlajco	La Laguna	23.0	7.60	0.62	0.29	290	10.00	Mayo del 2010

### El Jagüey, manantial Agua Salada

Al cuantificar los parámetros fisicoquímicos del manantial se notaron altos niveles de sólidos disueltos, un valor relativamente bajo de pH y uno de los niveles más altos de conductividad eléctrica. El sabor del agua era muy parecido al de una moneda de cobre, y al tomarse se sentía muy pesada, llenaba muy pronto y no quitaba la sed. Los campesinos informaron que el manantial era usado para el riego y que las milpas irrigadas crecían muy poco o lentamente.

Comentamos que tales características obedecían a una alta concentración de cobre en el líquido ocasionada por la roca allí abundante, la malaquita, constituida por ése y otros minerales. Como resultado de las reflexiones se acordó probar la utilización cada vez menor de fertilizantes químicos y la aplicación de compostas y abonos naturales para disminuir la salinidad de esas tierras de cultivo.



**Fotografía 3.** El manantial Agua Salada de El Jagüey.

### **El Jagüey, manantial El Amate**

El Amate es uno de los principales manantiales de la comunidad, pues, junto con otros afloramientos cercanos, abastece a alrededor de 60% de los pobladores y también es aprovechado para el cultivo de riego, sobre todo de maíz en temporada de secas.





**Fotografía 4.** Midiendo el caudal del manantial El Amate, de El Jagüey, con autoridades y comités de agua.

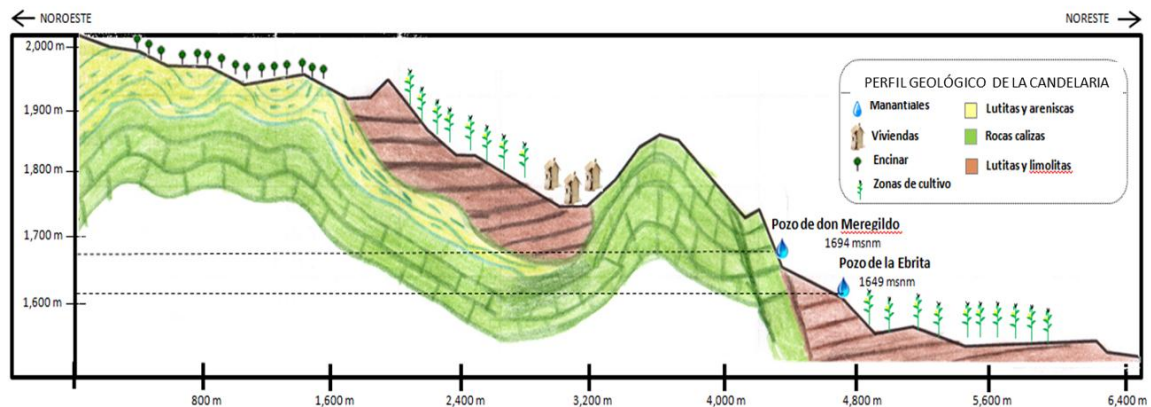
En la visita al manantial con las autoridades, la Unidad de Riego y los comités de agua locales se calculó su gasto y se analizó el uso y la distribución del agua. Se cayó en la cuenta de que la parte destinada a las viviendas era mayor a la necesaria y que por tanto se desaprovechaba para el riego. En una asamblea comunitaria las autoridades y los ciudadanos llegaron al acuerdo de modificar las cantidades y los modos de distribución del agua, por lo que disminuyeron la dotación a las viviendas y aumentaron la asignada al riego.

### **La Candelaria, pozo El Amitoxco**

La Candelaria se localiza a las orillas de la ciudad de Chilapa, sobre un tiradero de basura que fue relleno y cubierto. Por esta razón, sus habitantes piensan que las aguas de sus manantiales están contaminadas por los lixiviados de la basura. Tras el monitoreo recobraron la confianza en sus fuentes de agua, pues los valores de los parámetros fisicoquímicos no fueron elevados; no obstante, se acordó efectuar un estudio más a detalle de la calidad de sus aguas para descartar efectivamente su contaminación. Por otra parte, el gasto resultó suficiente para las necesidades domésticas de las familias.



**Fotografía 5.** Pozo El Amitoxco de La Candelaria.



**Perfil 4.** Ubicación de los manantiales sobre el perfil geológico de La Candelaria.

### Tenexatlajco, manantial La Laguna

Las condiciones de los terrenos de Tenexatlajco, en particular las fuertes pendientes y la exigua cubierta vegetal, causan la escasez del agua, lo que a su vez ha llevado a que la gente valore y proteja el líquido.

El cálculo de los caudales de sus fuentes de agua dio como resultado el establecimiento de nuevos acuerdos para su utilización. La principal beneficiaria fue la Telesecundaria “Aztlán”, carente de muchos servicios y elementos materiales. Las mediciones del manantial La Laguna, efectuadas con la ayuda de alumnos, profesores, autoridades y propietarios de los terrenos aledaños, llevaron a la constatación de que su gasto era suficiente para asignar una parte a la escuela sin que se agotara. En una asamblea comunitaria se firmó el acuerdo respectivo, con el consentimiento del propietario del terreno en que aflora el manantial.

### 3. ACUERDOS INTRA E INTERCOMUNITARIOS

Como se mencionó, en el monitoreo se identificaron acuerdos de uso y manejo de fuentes de agua dentro y entre las comunidades, algunos de los cuales vienen de hace mucho tiempo y están vinculados a las fiestas de los primeros días de mayo, las fiestas del agua. En esas fechas las comunidades juntan el ánimo y el esfuerzo para ofrendar y agradecer a los manantiales y los pozos y para pedir un buen temporal, olvidando los conflictos pues “El agua no se pelea ni cela, porque se va”.

**Tabla 2.** Comunidades, fuentes de agua y acuerdos intra e intercomunitarios para su uso

Comunidad	Fuentes de agua identificadas	Fuentes de agua monitoreadas	Acuerdos intra e intercomunitarios para el uso y el manejo del agua
<b>Microcuenca Chilapa-Zitlala</b>			
La Candelaria	3	Pozo de la Barranca P. El Amate Manantial Amitoxco	El pozo El Amate se encuentra en una parcela particular, y sus aguas son compartidas a los colonos.
Ahuihuiyuco	10	Pozos Cuates Pozo del Sabino P. Agua Salada P. de Los Rendones P. El Carrizo P. de la Carretera	Hay un pozo de uso común en cada uno de barrios de la parte baja del poblado, y los pozos restantes son de personas o grupos; los usuarios les dan mantenimiento. Años atrás la comunidad solicitó permiso a Tepozcuaatla para tomar las aguas de los manantiales El Fresno y Las Canoas, en la barranca El Chiflón.
Tenexatlajco	6	Manantial El Carrizo Depósito El Zapote	En la comunidad hay una fuerte organización para el cuidado de sus pocas fuentes de agua. No hay acuerdos con otras comunidades.
Tepozcuaatla	2	Manantial El Fresno M. Las Canoas	Tepozcuaatla autorizó a Ahuihuiyuco el uso de las aguas de sus manantiales.
Topiltepec	8	Manantial La Joya M. Palo Verde M. El Chiflón M. Carrizalillo	Se han organizado varios grupos para transportar agua de manantiales cercanos al pueblo, depositarla y distribuirla a las casas de sus miembros. No hay acuerdos con otras comunidades.
<b>Microcuenca Limontitlán</b>			
El Jagüey	21	Manantial La Lima M. El Chautle M. Agua del Coyote M. Los Amates M. Sompula M. Agua Zarca M. Agua Salada 1	El Jagüey acordó con parceleros de San Ángel compartir las aguas de Agua Salada, mientras que San Pedro se beneficia con las de Agua Zarca. Ambas comunidades, en muestra de agradecimiento, acuden a El Jagüey cada 6 de enero, la fiesta patronal del pueblo, a rendir ofrenda y tequio.  Los manantiales que abastecen a la comunidad son

		M. San José M. Tepozonal	cuidados por el Comité de Agua de cada barrio, en coordinación con la Unidad de Riego.
<b>Microcuenca Las Joyas</b>			
Tlalcomulco	10	Manantial El Amate M. Chocutla	En una barranca compartida con Trapiche Viejo se han realizado trabajos de restauración que han aumentado el caudal del manantial El Mango, de Trapiche y usado por parte de sus habitantes.
Mazapa	3	Manantial El Zapote M. La Fábrica M. Tabernitas	
Santa Cruz	4	Depósito Tecomazúchil D. El Rincón	Ambos depósitos son cuidados y vigilados por las autoridades comunitarias.
Agua Zarca	10	Manantial Agua Zarca 1 M. Agua Zarca 3 El Tanque	La comunidad pidió permiso a los vecinos de Acateyahualco para aprovechar el manantial de Pancomolica I en la Barranca Honda.
Acateyahualco	30	Manantial La Fábrica M. Amate Amarillo 1 M. El Tenejiate M. El Vado M. Pancomolita M. Las Anonas	Acateyahualco comparte agua y colabora en trabajos para beneficio de los manantiales con Agua Zarca, Trapiche Viejo y Mazapa, las que en agradecimiento la invitan a las fiestas del 3 de mayo.
Trapiche Viejo	10	Manantial El Mango M. Los Pocitos	Sus pobladores pidieron permiso a Acateyahualco para utilizar un Pancomolica II pues la mayoría de los propios se encuentran muy lejos y son de bajo gasto, por lo cual se destinan a los animales y el riego en parcelas cercanas.
Oxtoyahualco	15	Manantial La Pila M. Ranchito Viejo M. El Chautle 1 M. El Chautle 2 M. El Rinconcito M. Los Mangos	El pueblo cuenta con todo un caminar de trabajo que se guarda y se comparte. Cuando notaron que tenían menos agua reflexionaron y se organizaron para recuperar sus manantiales El Chautle, que abastecen a la mayoría de la población. Sus autoridades y comités de agua cuidan el líquido y vigilan su reparto.
Xocoyolintla	10	Manantial El Chautle M. Amate Prieto M. Paredón M. Tepetate M. El Rincón M. La Pila	

### 3.1 CONCLUSIONES Y APRENDIZAJES

Con el monitoreo se obtuvieron un inventario de fuentes de agua por comunidad y elementos cuantitativos sobre su gasto y volumen. Tras reflexionar colectivamente sobre tales datos y en torno al manejo local del líquido, sobre todo en momentos críticos de baja disponibilidad, tres comunidades modificaron sus acuerdos relativos al agua y once los refrendaron, siempre sustentadas en la igualdad de las personas en cuanto al derecho al uso y disfrute del agua y el voto de la ciudadanía en la asamblea comunitaria.

La medición participativa ha ofrecido otros beneficios para los campesinos, como el análisis de la dinámica de los procesos hídricos locales, la identificación de las áreas de recarga de manantiales y mantos acuíferos, el mejoramiento de la planeación comunitaria del agua y el fortalecimiento de las instituciones locales implicadas en la gestión del recurso.

La participación de los actores locales en el monitoreo también ha favorecido la continuidad de las mediciones y ha motivado a las comunidades a involucrarse en los estudios de la dinámica hídrica en la región promovidos por el GEA, la Universidad Autónoma de Guerrero y el Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, con lo que también ven reforzadas sus capacidades y su gestión del agua.

Por otra parte, pobladores y técnicos verificamos que las obras de conservación de suelo y de agua construidas por las comunidades en sus barrancas, montes y parcelas han incrementado el caudal de los manantiales e incluso han dado origen a nuevos afloramientos.

En las comunidades campesinas e indígenas el agua es concebida como un recurso de todos y para todos, sin negarle a nadie la oportunidad de usarla y disfrutarla, a la vez que es protegida con hechos, sustentados en el valor de la palabra entre las personas y de los acuerdos en las comunidades y entre ellas. Las relaciones entre los pueblos, en particular las que atañen a la creación de acuerdos, han posibilitado la permanencia de las fuentes de agua, pues en general han evitado su abuso por parte de los usuarios. En la base de estos acuerdos se halla el respeto al derecho universal al agua, a los usos y costumbres de cada comunidad y a la Madre Tierra.



# ESFUERZO MULTISECTORIAL PARA IMPULSAR EL ESTABLECIMIENTO DE LA RED COMUNITARIA DE MONITOREO DEL AGUA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA

Anastacio SARMIENTO SÁNCHEZ<sup>a</sup>, Angélica MURILLO GARCÍA<sup>a</sup>, Gerardo SEGUNDO SÁNCHEZ<sup>a</sup>, Adrián SÁNCHEZ GARCÍA<sup>a</sup>, Eduardo GARCÍA MEDINA<sup>a</sup>, Miguel NAVA MORENO<sup>a</sup>, Lucino GUTIÉRREZ MORALES<sup>a</sup>, Jaime GARCÍA GARCÍA<sup>a</sup>, Olivia VÁZQUEZ ESPINOSA<sup>b</sup>, Antonio GUTIÉRREZ NUÑEZ<sup>b</sup>, Isabel RAMÍREZ RAMÍREZ<sup>c</sup>, Rosaura PÁEZ BISTRAIN<sup>c</sup>, Katia Ivonne LEMUS RAMÍREZ<sup>d</sup>, Felipe MARTÍNEZ MEZA<sup>d</sup>, Friné LÓPEZ MARTÍNEZ<sup>e</sup>, Raúl Ricardo ZUBIETA HERNÁNDEZ<sup>e</sup>, Nélida VELÁZQUEZ RÍOS<sup>e</sup>, Sandra Denice LUGO OLGUÍN<sup>f</sup> y Eligio GARCÍA SERRANO<sup>g</sup>

<sup>a</sup>Alternare, A.C. Caravaggio No. 24, Col. Nonoalco Mixcoac, CP. 03700, México, D.F. Email: [alternare\\_tacho@yahoo.com.mx](mailto:alternare_tacho@yahoo.com.mx) y [ger\\_seg27@hotmail.com](mailto:ger_seg27@hotmail.com)

<sup>b</sup>Biocenosis Región Monarca, A.C. 5 de Mayo Sur # 76, Col. Ignacio Zaragoza, C.P 61516, Zitácuaro, Michoacán. Email: [oly\\_bio13@yahoo.com.mx](mailto:oly_bio13@yahoo.com.mx) y [lic-toni@hotmail.com](mailto:lic-toni@hotmail.com)

<sup>c</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), UNAM. Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta. CP. 58190. Morelia, Michoacán. Email: [isabelrr@ciga.unam.mx](mailto:isabelrr@ciga.unam.mx) y [rpaezb@ciga.unam.mx](mailto:rpaezb@ciga.unam.mx)

<sup>d</sup>Dirección de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, CONANP. Cuauhtémoc Oriente No. 35, Col. Centro, Zitácuaro, Michoacán. Email: [katia.lemus@conanp.gob.mx](mailto:katia.lemus@conanp.gob.mx) y [fmartinez@conanp.gob.mx](mailto:fmartinez@conanp.gob.mx)

<sup>e</sup>Espacio Autónomo, A.C. Allende No. 7 int. 2, Col. Pueblo Santa Úrsula Coapa, CP. 04650, México, D.F. Email: [frine.lopez@espacioautonomo.org](mailto:frine.lopez@espacioautonomo.org), [raul.zubieta@espacioautonomo.org](mailto:raul.zubieta@espacioautonomo.org) y [neli.velazquez@espacioautonomo.org](mailto:neli.velazquez@espacioautonomo.org)

<sup>f</sup>Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. Damas 49, Col. San José Insurgentes, CP. 03900, México, D.F. Email: [denice.lugo@fmcn.org](mailto:denice.lugo@fmcn.org)

<sup>g</sup>Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. Héroes Ferrocarrileros No. 1, Col. Héroes Ferrocarrileros, CP. 61506, Zitácuaro, Michoacán. Email: [fondomonarca2000@yahoo.com.mx](mailto:fondomonarca2000@yahoo.com.mx)

## RESUMEN

Uno de los problemas centrales en el manejo de cuencas hidrográficas es cómo identificar mecanismos, iniciar procesos y lograr acuerdos de colaboración multisectorial que influyan en el cambio de comportamiento de los usuarios de los recursos hídricos. En junio de 2011, la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, el Fondo Monarca, el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) y las organizaciones civiles Alternare, Biocenosis, Espacio Autónomo y Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, pusieron en marcha la Red Comunitaria de Monitoreo del Agua en cinco ejidos y cinco comunidades indígenas del área protegida. El propósito es apoyar a recabar información sobre el estado de los cuerpos hídricos con un enfoque de cuenca,

fortalecer las capacidades locales y empoderar positivamente a los grupos para incidir en las políticas e instituciones encargadas de la administración del agua. La Red cuenta con 60 monitores certificados y 36 sitios permanentes de monitoreo en las dos grandes cuencas que componen a la Reserva: Lerma-Santiago y Balsas. El monitoreo se realiza mensualmente de acuerdo con el protocolo Global Water Watch, el cual permite evaluar la calidad del agua superficial mediante parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Para asegurar la calidad de los datos, el monitoreo es respaldado por el Laboratorio de Análisis de Suelos y Agua del CIGA a través de la validación periódica de muestras de agua tomadas en los sitios de monitoreo. Los resultados obtenidos se presentan continuamente en las asambleas de los ejidos y comunidades involucrados para informar y promover la importancia del monitoreo en la región.

**Palabras clave:** Sinergia multisectorial, monitoreo de calidad de agua, manejo de cuencas hidrográficas, capacitación, ejidos y comunidades indígenas, Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

## 1 INTRODUCCIÓN

En diferentes conferencias internacionales se ha establecido la necesidad de que los ciudadanos participen en los procesos de decisión sobre la gestión y buen gobierno de los recursos hídricos, teniendo en cuenta que el conocimiento es la base de la comprensión y adopción de mejores decisiones. Uno de estos procesos es el Monitoreo con Participación Comunitaria; el cual es definido por Whitelaw y colaboradores (2003) como “un proceso en el que ciudadanos, agencias de gobierno, industria, academia, grupos comunitarios, e instituciones locales colaboran para monitorear, rastrear y responder a objetivos ambientales comunes”. Bliss (2001) enfatiza este proceso como Monitoreo Multipartita (Multisectorial) y considera el monitoreo como un componente integral del manejo adaptativo. Diferentes autores han discutido los beneficios del Monitoreo Comunitario multipartita. Cuthill, (2000) destacó el beneficio que obtienen las agencias estatales con la extensión de sus redes de monitoreo, los ahorros presupuestarios y las contribuciones a la planeación gubernamental con la participación pública. Para las comunidades y organizaciones no gubernamentales el beneficio se obtiene a través del desarrollo del capital social, en la medida que comprometen a voluntarios, crean y consolidan conexiones con instituciones. Así, los resultados del monitoreo tienen el potencial de ser traducidos en influencia y en última instancia en “cambios en el sitio del poder” (Blis *et al.* 2001). Por otra parte, el Monitoreo Comunitario ha incrementado su relación con universidades, con actividades que pueden ir desde el desarrollo de protocolos de monitoreo, análisis de laboratorio, procedimientos para el control de la calidad, hasta el establecimiento de relaciones con otras entidades (Savan *et al.* 2003).

Hoy día en países como Canadá, Estados Unidos, Australia e India, las comunidades locales se han visto cada vez más involucradas y han desempeñado un papel importante en la implementación de programas de monitoreo comunitario (Cutchill, 2000; Whitelaw *et al.* 2003; Sharpe y Conrad, 2006; Deutsch *et al.* 2009). Esta actividad se ha extendido considerablemente debido al incremento en el conocimiento y toma de conciencia acerca del impacto antropogénico a los ecosistemas naturales (Conrad y Daust, 2008). En México, afortunadamente, las experiencias de implementación de programas de monitoreo comunitario del agua van en aumento, pudiendo ubicar los grupos de monitoreo en los estados de Veracruz, Chiapas, Michoacán, Colima, Jalisco, Yucatán, entre otros (Ramos-Escobedo, 2012).



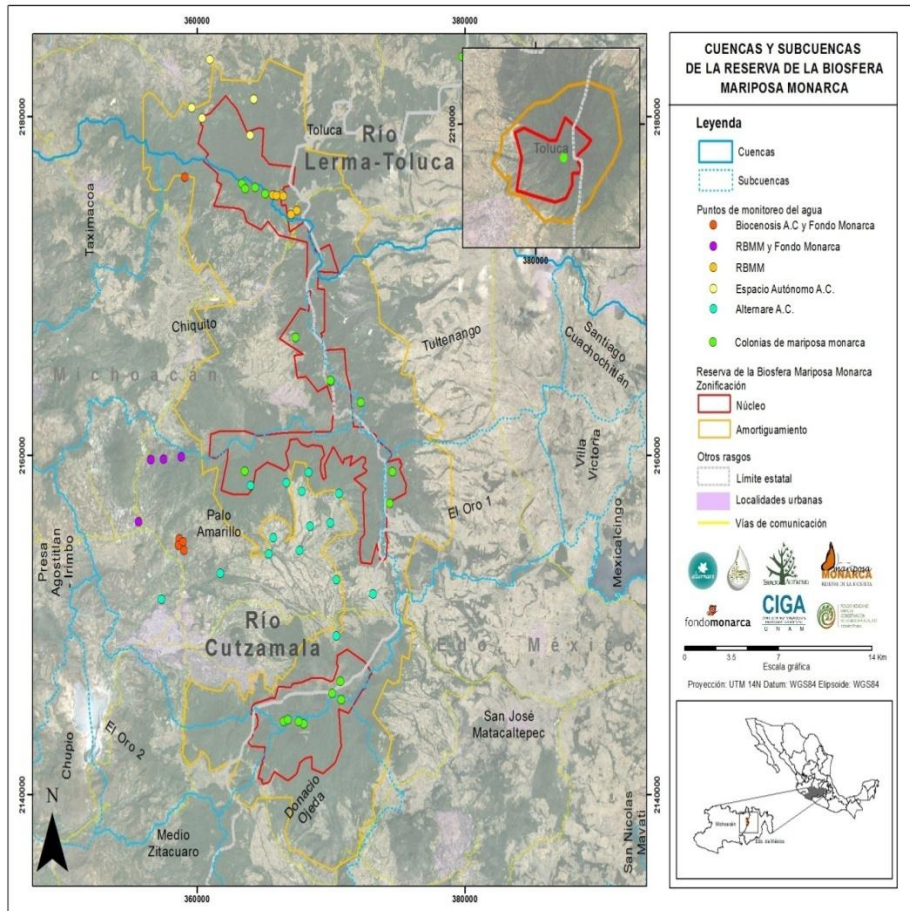
Las zonas de montaña y sus frágiles ecosistemas son particularmente importantes para el almacenamiento de agua y la reposición de aguas superficiales. Sin embargo, una de las limitantes actuales para la gestión de estas áreas y en particular de las Áreas Naturales Protegidas, es la falta de información sistematizada, periódica y de largo plazo, que permita monitorear el estado de los recursos hídricos y que dirija las acciones de protección de las cuencas. Este tema requiere de atención urgente y focalizada para mejorar las políticas de protección de los recursos hídricos, no sólo para asegurar la provisión de agua en calidad y en cantidad para los propios ecosistemas sino también para sus habitantes.

## **2 LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA**

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) se ubica en los límites de los estados de México y Michoacán. Tiene una extensión de 56,259 hectáreas, dividida en tres zonas núcleo (13,551has) y dos zonas de amortiguamiento (42,707 has) (CONANP, 2001).

Sus paisajes se caracterizan por valles y montañas pertenecientes a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico Transversal, con altitudes que van desde los 2,040 y 3,640 msnm. Su sistema florístico forma parte de una zona de transición entre las regiones Neártica y Neotropical, adscrita a la provincia de las Serranías Meridionales de la Región Mesoamericana de Montaña, por lo cual se encuentra cubierta por bosques templados de altura, en los que predominan las coníferas (oyamel, pino, encino y cedro), y una enorme biodiversidad de especies de plantas vasculares, hongos y fauna silvestre, sobretodo de aves.

El área natural protegida se destaca por ser una región prioritaria para la conservación del fenómeno migratorio de la mariposa monarca (*Danaus plexippusplexippus*) en América del Norte. En 2008, fue declarada Patrimonio Natural de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Además, forma parte de dos de las cuencas más grandes e importantes del país: la Cuenca del Río Lerma (Subcuencas Atlacomulco-Paso de Ovejas, Cavichi, Tlapujahua y Jaltepec) y la Cuenca del Río Balsas (Subcuencas Tuxpan, Zitácuaro y Tilostoc), las cuales contribuyen con 30% del agua que abastece a la Ciudad de México (Fig. 1) (CONAGUA, 2005; CONAFOR, 2010). Por tanto, representa una región prioritaria para la conservación y provisión de servicios ambientales.



**Figura 1.** Ubicación de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca y los sitios permanentes de monitoreo.

### 3 LA ESTRATEGIA DE LA RED COMUNITARIA DE MONITOREO DEL AGUA

Con esta inquietud, en Junio de 2011, la Dirección de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (DRBMM), el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Fondo Monarca y las organizaciones civiles Alternare, Biocenosis, Espacio Autónomo y el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), pusieron en marcha la Red Comunitaria de Monitoreo del Agua (RCMA).

El propósito de la RCMA se orienta en apoyar a las comunidades locales, organizaciones civiles e instituciones gubernamentales para recabar información clave sobre el estado de los cuerpos de agua con un enfoque de cuenca, fortalecer las capacidades locales y empoderar positivamente a los grupos para incidir en las políticas e instituciones encargadas de la administración del agua.

La Red opera a partir de un documento rector, una carta intención y un reglamento interno consensuado por todas las instituciones participantes, que brindan estructura y formalidad al

esquema de cooperación entre los diferentes sectores. Estos arreglos institucionales han favorecido el uso eficiente de los recursos, el manejo responsable y confiable del poder, la provisión de mecanismos de comunicación efectivos y sostenibles a diferentes escalas y la minimización de conflictos internos. Y aunque la alianza no cuenta con presupuesto asignado por parte de ninguna de las organizaciones, la RCMA ha conseguido sumar una inversión conjunta para canalizar a las diferentes actividades y dar continuidad al monitoreo.

Cada sector participante cumple una función estratégica dentro de la red. Las Organizaciones de la Sociedad Civil (OSCs) establecen vínculos directos con los integrantes de las diferentes comunidades para fomentar su participación en la Red de Monitoreo Comunitario a través de relaciones de confianza y reciprocidad. Además, conforman el brazo operativo y de financiamiento de diversas actividades. El sector académico otorga respaldo y validez a los datos generados en el monitoreo comunitario de la calidad del agua. El sector gubernamental y las fundaciones aportan recursos materiales y organizacionales para llevar a cabo las actividades del monitoreo.

Las actividades de la Red se han centrado en cinco ejidos y cinco comunidades indígenas del área protegida y su área de influencia (Tabla1). En esta zona se han realizado actividades de sensibilización para promover la participación comunitaria en las diferentes acciones de capacitación y del propio monitoreo.

**Tabla1.** Comunidades en las que se impulsa el monitoreo comunitario del agua.

Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	Municipio	Comunidad	Sitios de Monitoreo
Lerma-Santiago	Cavichi	Senguio	Senguio	Ejido El Calabozo 2da Fracción	1
				Ejido Chincua	1
				Ejido Senguio	3
	Toluca	Garatachea	Angangueo	Ejido Los Remedios	2
				Ejido Cerro Prieto	4
Balsas	Zitácuaro	San Juan	Zitácuaro	C.I. Curungueo	6
				C.I. Donaciano Ojeda	5
				C.I. Francisco Serrato	5
				C.I. Crescencio Morales	5
				C.I. San Felipe de los Alzati	4
				<b>Total</b>	<b>36</b>

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 ESTRATEGIA DE COLABORACIÓN**

Como resultado, la Red ha logrado organizar cuatro talleres de certificación en el uso del protocolo de monitoreo Global Water Watch (GWW), los cuales fueron impartidos por personal de GWW-México. Este método funciona como una alerta temprana para identificar de forma oportuna condiciones que están amenazando la calidad del agua superficial, a través de la obtención mensual de datos físico-químicos (temperatura, pH, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto y turbidez) y bacteriológicos (coliformes fecales y de vida libre).

A casi dos años de trabajo coordinado, la RCMA ha capacitado a 60 monitores voluntarios certificados por GWW-México, de los cuales 13 fueron recertificados en 2012. Se espera que el desarrollo de capacidades amplíe la participación comunitaria en el monitoreo del agua, genere información y que finalmente detone acciones que detengan el deterioro e incluso mejoren la calidad de agua disponible para uso doméstico. Por otra parte, se espera, en el largo plazo, formar Líderes o Técnicos Comunitarios especialistas en monitoreo ambiental.

La RCMA ha establecido hasta ahora 36 sitios de monitoreo permanente y cuenta con 20 meses de monitoreo (5040 datos) (Fig. 1). Estos sitios fueron elegidos después de un análisis cartográfico y en consenso con las comunidades participantes, favoreciendo los cuerpos de agua de donde éstas obtienen agua potable. Los resultados obtenidos se incorporan en la base de datos GWW, la cual está disponible en línea para su consulta pública (<http://www.globalwaterwatch.org/MexEsp/mxwwWS3Sp.aspx>). Por otra parte, se han realizado reuniones periódicas con los ejidos y comunidades participantes para compartir los resultados físico-químicos y bacteriológicos.

El siguiente paso a seguir es analizar e interpretar los datos del monitoreo, a fin de identificar tendencias y proponer acciones para mejorar la calidad del agua en los sitios de monitoreo. Además, y en acompañamiento del CIGA, la RCMA está desarrollando una base de datos regional que incorpore otros componentes del paisaje (vegetación, suelos, actividades humanas, etc.) íntimamente relacionados con la calidad y la disponibilidad del agua, que apoye en el proceso de toma de decisiones de manejo en el área protegida y su zona de influencia.

### **4.2 VALIDACIÓN DE DATOS**

Por la importancia que esta información puede tener para dirigir las acciones de conservación en la RBMM, es fundamental que todos los parámetros del monitoreo vayan respaldados y validados por un análisis de laboratorio especializado. En este sentido, el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la UNAM, a través del Laboratorio de Análisis de Suelos y Agua (LASA), respalda desde octubre de 2011 la calidad de los datos mediante la validación en laboratorio de muestras de agua tomadas en los sitios de monitoreo. Actualmente, la RCMA cuenta con cuatro validaciones de calidad de datos.

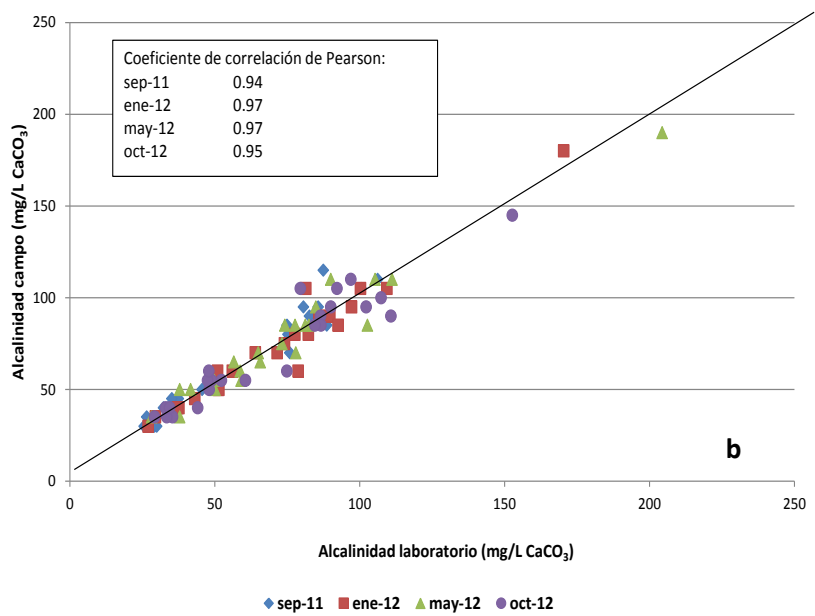
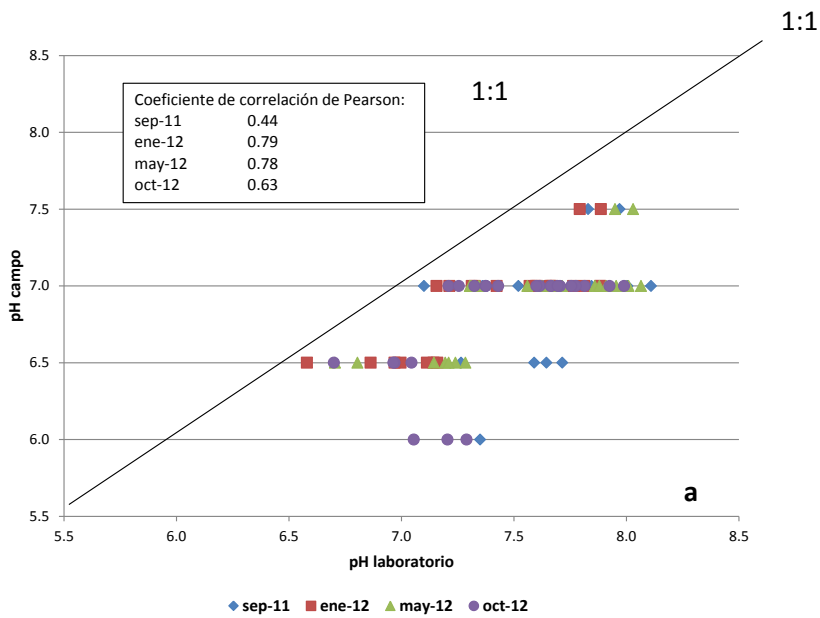
Para la comparación de los datos obtenidos en laboratorio y los obtenidos por los monitores comunitarios, se aplicó una prueba de *t* para datos pareados. En dichos resultados se obtuvo que para el pH hay diferencias altamente significativas en las cuatro fechas de análisis; mientras que

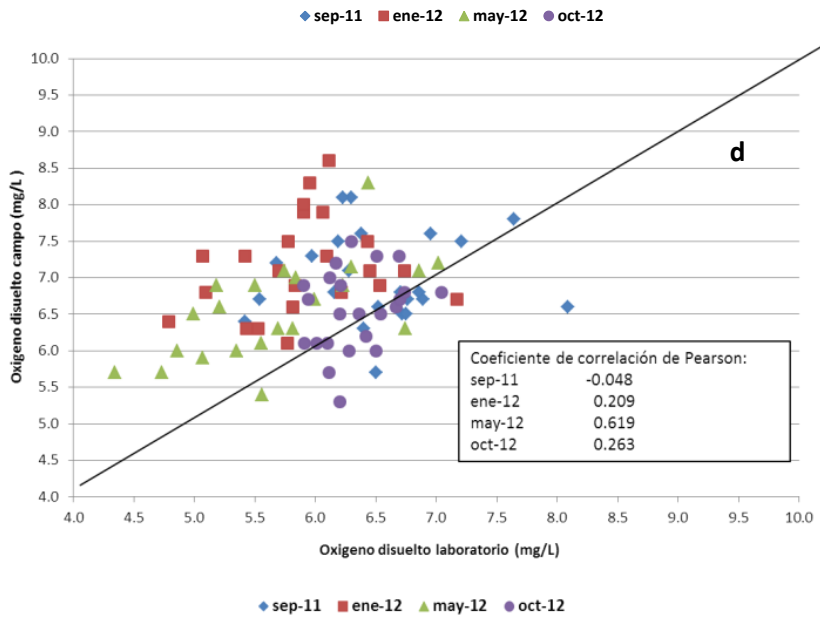
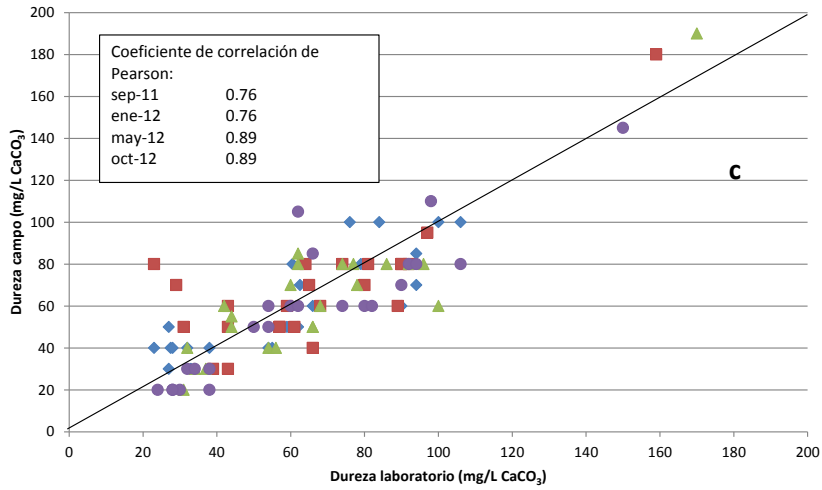
para la alcalinidad, sólo en el mes de septiembre se observa una diferencia significativa entre las mediciones hechas en el laboratorio y las realizadas en el campo. Para la de dureza, ninguna de las fechas de análisis presenta diferencias significativas, lo mismo ocurre con la turbidez, a pesar de que se usan métodos distintos en campo y en laboratorio. Sin embargo, podrían considerarse equivalentes (a reserva de un análisis más profundo). Las mediciones de oxígeno disuelto muestran diferencias significativas en 3 de las 4 fechas de muestreo.

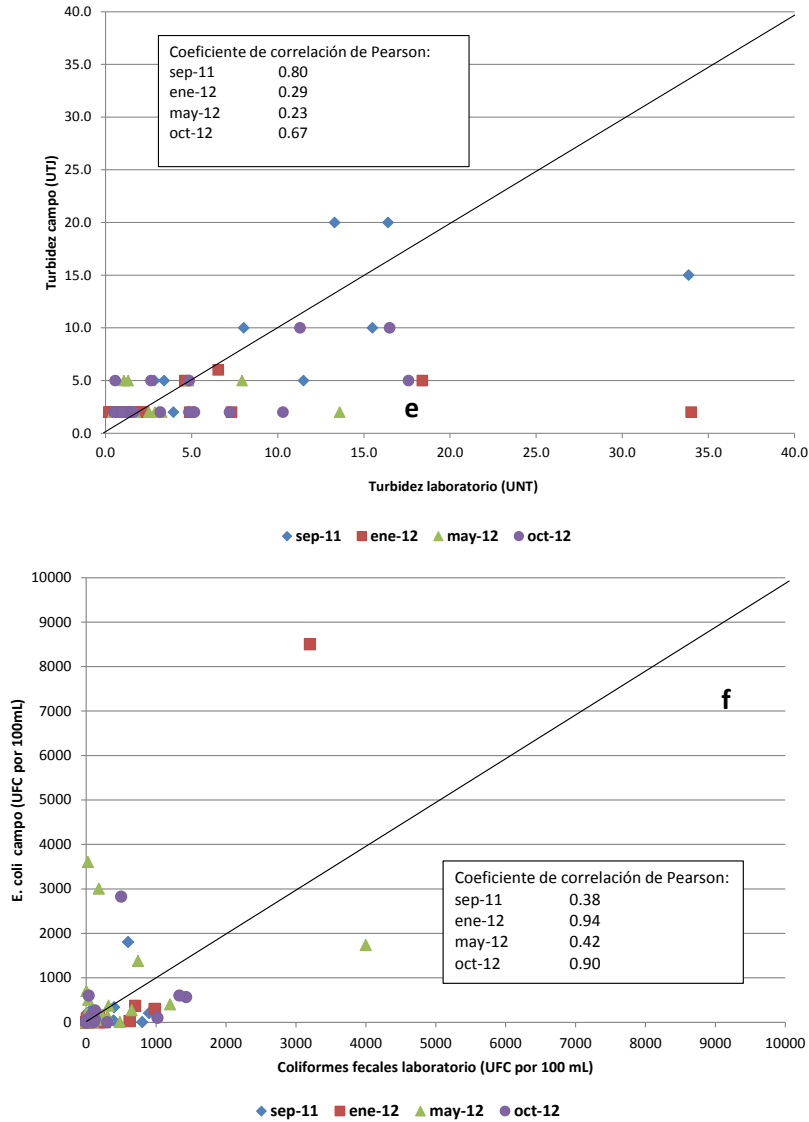
Las estimaciones de bacterias coliformes totales presentan diferencias significativas en dos de las cuatro fechas evaluadas (septiembre de 2011 y enero de 2012); mientras que las estimaciones de coliformes fecales (*E. coli*) sólo presentan diferencias significativas en el mes de septiembre de 2011.

En general, tenemos que en el 64% de los contrastes realizados no existen diferencias significativas entre las mediciones realizadas en campo y las realizadas en el laboratorio. Del 36% de los contrastes que presentan diferencias significativas, la mayor parte corresponden al pH y oxígeno disuelto. Estas diferencias puedan ser atribuidas al cambio en las condiciones en que se realizan las mediciones en el campo y en el laboratorio, y a las diferencias propias que existen entre los métodos utilizados.

Otro análisis realizado fue el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson. Los resultados de las correlaciones se muestran en las gráficas de la figura 2. En dichas graficas observamos que la alcalinidad y la dureza muestran correlaciones altamente significativas en todas las fecha de muestreo. Las mediciones de pH, turbidez y coliformes fecales presentan correlaciones altamente significativas en al menos dos fechas. Mientras que el oxígeno disuelto sólo en el mes de mayo muestra una correlación significativa entre los datos de laboratorio y los obtenidos en campo. La estimación de coliformes totales es la única que no muestra una correlación significativa en ninguna de las fechas comparadas.







**Figura 2.** Dispersión y correlación de los datos obtenidos en laboratorio con respecto a los obtenidos en campo, para 6 de los parámetros comparados. En cada gráfica (a-g) se muestra la línea ideal con pendiente 1 y ordenada al origen en cero.

## 5 CONCLUSIONES

Los avances y logros de la RCMA reconocen que el esfuerzo multisectorial coordinado permite avanzar en el desarrollo de sistemas de monitoreo que cobran suma importancia en la gestión actual y futura del área protegida para promover la conservación de los ecosistemas y especies prioritarias de la reserva.

Si bien todo proceso de participación multisectorial comienza por la iniciativa de uno de los sectores; a dos años de trabajo los participantes en la RCMA se han apropiado del proceso para asegurar su continuidad, lograr financiamiento para el seguimiento a los compromisos y; formalizar



las decisiones en convenios de colaboración y reglamentos internos de comunicación y difusión de la iniciativa.

El nivel de participación de las comunidades y ejidos es diferente para cada caso, por lo que se deberá fortalecer su participación en la RCMA. La experiencia en la región demuestra que si se construyen colectivamente las soluciones, involucrando a los actores sociales en la toma de decisiones, hay más garantía de permanencia y continuidad de las instituciones y de las acciones de conservación.

La mayoría de las organizaciones han involucrado básicamente a los actores locales dejando pendiente la inclusión de otras instituciones con injerencia en temas de salud y administración municipal del agua. En algunos casos la participación de actores clave como los encargados de la distribución del agua y autoridades agrarias permitió implementar mejoras en la identificación de los sitios de monitoreo, seguimiento y elaboración de la propuesta de difusión de resultados.

El monitoreo comunitario realizado con el uso del protocolo de monitoreo de GWW y su validación en el LASA del CIGA, nos proporciona información confiable sobre la calidad del agua. Esta combinación, permite contar con un programa de monitoreo de calidad del agua basado en resultados creíbles.

Finalmente, se considera necesario aplicar el enfoque integral de cuenca en el trabajo de la RMCA como la forma idónea de aproximarse a las soluciones de los problemas hídricos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este documento es resultado del trabajo llevado a cabo por la Red Comunitaria de Monitoreo del Agua de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca y no habría sido posible sin el esfuerzo y compromiso de todos los que forman parte de ella. Agradecemos especialmente a los Ejidos Senguio, Chincua, Calabozo 2da Fracción, Remedios y Cerro Prieto, así como a las Comunidades Indígenas de Curungueo, San Felipe de los Alzati, Donaciano Ojeda, Crescencio Morales y Francisco Serrato, que apoyan esta iniciativa. De igual forma expresamos nuestro reconocimiento a Rosendo Caro Gómez y Gloria Tavera Alonso, anterior y actual Director de la Reserva, respectivamente, por su respaldo incondicional hacia esta plataforma de colaboración. Finalmente, agradecemos a Adriana Flores, Miriam Ramos y Eduardo Aranda de Global WaterWatch-México por su apoyo, acompañamiento y amistad.

## **REFERENCIAS**

- Bliss, J., G. Aplet, C. Hartzell, P. Harwood, P. Jahnige, D. Kittredge, S. Lewandowski, and M. L. Soscia, 2001. Community-based ecosystem monitoring, *Journal of Sustainable Forestry*, 12, pp. 143–167.
- Carranza, J., I. Paniagua, K. Ocegüera & L. Ruiz. 2010. Análisis del impacto por la 5ta tormenta invernal del 2010 en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Dirección de Evaluación y Seguimiento. Mayo 2010. 35 p.
- Cuthill, M. 2000. An interpretive approach to developing volunteer-based coastal monitoring programmes. *Local Environment* 5: 127-133.

- CONAFOR. 2010. *Hacia una estrategia integrada de manejo de cuencas: microcuencas del Sistema Cutzamala*. Segundo coloquio internacional "Cuencas Sustentables" hacia la COP16. CONAFOR-SEMARNAT. 39 p.
- CONAFOR. 2013. *Fondo Monarca: Un instrumento innovador de pago por servicios ambientales en apoyo a la conservación de bosques y a la retribución a las comunidades forestales*. Gerencia de Servicios Ambientales-CONAFOR, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y Fondo Monarca. México. 63 p.
- CONAGUA. 2005. *The Cutzamala System. Conagua-Semarnat*. CONAGUA. México. 49 p.
- CONANP. 2001. *Programa de manejo de la Reserva Especial de la Biósfera Mariposa Monarca*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP)-SEMARNAT. México. 138 p.
- Conrad C. & Hilchey, K. (2011). A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176, 273–291.
- Deutsch, W., Lhotka, L., y Ruiz-Córdova S. (2009). Group dynamics and Resource Availability of a Long-Term Volunteer Water-Monitoring Program. *Society and Natural Resources*, 22, 637-649.
- Graf, S., & R. González. 2009. Informe rediseño del Fondo Monarca. México, D.F. 14 p.
- Merino, L., & M. Hernández. 2004. Destrucción de instituciones comunitarias y deterioro de los bosques en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Sociología* 2: 261-309.
- Ramos-Escobedo, M.G. (2012). The Mexican story. En: *Water: On Resource-Shared Effort-Common Future. Eighth National Monitoring Conference*. Recuperado de: [http://acwi.gov/monitoring/conference/2012/ESI8\\_Ramos.pdf](http://acwi.gov/monitoring/conference/2012/ESI8_Ramos.pdf)
- Tucker, C.M. 2004. Community Institutions and Forest Management in Mexico's Monarch Butterfly Reserve. *Society & Natural Resources: An International Journal* 17(7): 569-587.
- Savan, B., Margan, A. J., Gore, C. (2003). Volunteer Environmental Monitoring and the Role of the Universities: The Case of Citizens' Environment Watch. *Environmental Management*, 31(5), 561-568.
- Sharpe, A., and Conrad, C. (2006). Community based ecological monitoring in Nova Scotia: Challenges and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 13, 305–409.
- Whitelaw, G., H. Vaughan, B. Craig and D. Atkinson. 2003. Establishing the canadian community monitoring network. *Environmental Monitoring and Assessment* 88: 409–418.
- WWF. 2012. Degradación y pérdida forestal en la zona núcleo de la reserva de la biosfera mariposa monarca 2011-2012. Informe presentado en el Comité Técnico del Fideicomiso del Fondo Monarca. 2p.

# LA MICROCUENCA DEL RÍO MAGDALENA, UN REFERENTE DE ESTUDIOS SOCIOAMBIENTALES EN LA CUENCA DE MÉXICO

Enrique CANTORAL, Lucía ALMEIDA, Javier ÁLVAREZ, Victor ÁVILA, Guadalupe BARAJAS, Javier CARMONA, Silvia CASTILLO, Joaquín CIFUENTES, Teresa GONZÁLEZ, Julieta JUJNOVSKY, Livia LEÓN, Adrián NIETO, Alya RAMOS y Yuriana MARTÍNEZ.

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

## RESUMEN

Desde hace alrededor de 8 años, la microcuenca del río Magdalena en el surponiente de la Ciudad de México, ha recibido atención conjunta e interdisciplinaria por un grupo de académicos conformado por profesores y estudiantes interesados en los estudios socioambientales, encaminados a comprender la estructura y funcionamiento de la microcuenca. Se trata de una de las principales áreas de excedente hídrico en el DF, con representación de la vegetación templada del país en un gradiente altitudinal entre los 2,600 y los 3,800 msnm conformada por bosques de *Pinus hartewii*, *Abies religiosa* y *Quercus* spp., así como una biodiversidad conformada por más de 1,000 especies. Se desarrollaron investigaciones sobre los componentes estructurales abióticos (relieve, clima, suelo, balance hídrico), bióticos (biodiversidad de algas, hongos, flora vascular, fauna: macroinvertebrados, mariposas, anfibios, reptiles, aves, mamíferos); estructura y regeneración de comunidades, de los procesos del ecosistema, y de los servicios ecosistémicos. A través de la intervención comunicativa, se identificó la problemática socioambiental conjuntamente con los pobladores locales, se generaron estrategias de manejo tendientes a mejorar el mantenimiento del recurso hídrico, la conservación de la diversidad y la restauración del ecosistema. Se presenta un análisis de la composición de especies endémicas, amenazadas, en peligro o protegidas, que muestran el papel fundamental que desempeña la microcuenca como área de conservación de la diversidad biológica. Se analiza la composición y estructura y su relación con la variabilidad de los factores ambientales, conformando unidades de vegetación que reflejan el grado de heterogeneidad ambiental a escala de paisaje. Se presenta una propuesta de modelo integral para la restauración ecológica de los bosques considerando: el banco y la lluvia de semillas (LLS), la reforestación con árboles inoculados con hongos ectomicorrizógenos (HEM) y arbusculares (HMA), el monitoreo de variables de crecimiento y ecofisiológicas. Cabe mencionar que este es el primer esfuerzo interdisciplinario de integración socioambiental a nivel de esta microcuenca y esta por ser evaluada en la red mexicana de estudios ecológicos de largo plazo.

**Palabras clave:** cuenca de México, biodiversidad, servicios ambientales, socioecosistemas.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de los antecedentes que enmarcan la presente investigación, parten del hecho de que en México existe un deterioro ambiental que refleja una aguda crisis en el manejo de los ecosistemas. Esta resulta de las actitudes y las acciones de los individuos, los grupos y el Estado en su interacción con el ambiente. Por esta razón, desde hace más de dos décadas, varios grupos académicos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), han estado involucrados en

el estudio de los procesos sociales, económicos y ecológicos relacionados con la pérdida, la transformación y el deterioro de los ecosistemas. Los estudios se han encaminado a buscar las causas que ocasionan tales problemas y las posibles soluciones o las medidas de mitigación que pudieran aplicarse (Sarukhán y Maass, 1990; García-Oliva *et al.* 1994, Maass, 2003, Castillo *et al.* 2005). En este contexto, la UNAM inició en el 2005 un proyecto interdisciplinario con el nombre de Manejo de ecosistemas y desarrollo humano, a partir del cual se propuso capitalizar la acumulación de conocimientos y las experiencias de sus investigadores de cuatro dependencias universitarias, mediante la construcción paulatina de un modelo de trabajo común en cuatro regiones del país que se encuentran delimitadas territorialmente en cuencas hidrográficas, cuyo nivel de conocimiento, información, situación socioeconómica y problemática eran diferentes. El objetivo principal del proyecto fue construir, a través del trabajo de investigación participativa e interdisciplinaria, una red de investigación universitaria enfocada al manejo sustentable de los ecosistemas que generara modelos de ordenamiento, conservación, uso y restauración de los valores, los recursos naturales y los servicios ecosistémicos.

El proyecto se desarrollo en el contexto de los estudios socioambientales enfocados al desarrollo humano e institucional para el manejo de los ecosistemas. El enfoque adoptado introdujo dos aspectos novedosos. Por un lado, se considera la importancia de la incertidumbre y la complejidad en la dinámica de los sistemas sociales y ecológicos y por tanto de las dificultades inherentes a la toma de decisiones, control y manipulación de la naturaleza y la sociedad. Por otro lado, se reconoce la importancia de las decisiones colectivas en la transformación de las reglas de interacción social dirigidas a la cooperación para el manejo de los ecosistemas. En este sentido, se considera de suma importancia la contribución de las ciencias sociales y naturales y de la planeación comunicativa, para desarrollar y poner en marcha las estrategias de manejo de los ecosistemas.

La microcuenca del río Magdalena inmersa en la Ciudad de México, fue el objeto de estudio de los académicos y estudiantes de la Facultad de Ciencias. Una de las problemáticas inmediatas a resolver fue el mantener la superficie de las áreas naturales protegidas en México, en el caso particular, del suelo de conservación de la ciudad de México, que es una actividad que ha posibilitado la protección de más de 1,000 especies de plantas, algas, hongos, mamíferos, aves, anfibios, reptiles e insectos que viven en esos lugares, el mantenimiento de los servicios ecosistémicos y la conservación de los recursos naturales. En el Distrito Federal el 57% de sus suelos corresponde a áreas de conservación, en las cuales se requieren medidas efectivas que detengan el avance de la mancha urbana, realizando acciones que garanticen la protección de los recursos naturales, así como la ejecución de diversos programas institucionales que impulsen estudios y proyectos ambientales con una visión de desarrollo sustentable a nivel de cuenca, que permitan tener elementos de comparación en relación a los efectos del cambio climático global y que incidan armónicamente, tanto en el progreso económico del área rural, como en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que brindan a la Ciudad.

Generalmente la conservación de las cuencas y sus áreas boscosas enfrenta serios problemas, originados principalmente por los cambios de uso de suelo con fines agrícolas, pecuarios y de crecimiento urbano, la extracción ilegal y desmedida de madera, tierra de monte, plantas ornamentales y medicinales, semillas y hongos comestibles y otros recursos, junto con la captura o

cacería ilegal de fauna. Ningún decreto de protección es suficiente para frenar la pérdida y destrucción de estos recursos, en especial si no se acompaña de alternativas viables de conservación que

permitan a sus dueños hacer rentables estos lugares, tanto en términos económicos como ambientales, ya que enfrentan las responsabilidades legales y la exigencia de la sociedad de cuidar y preservar las zonas boscosas de sus cuencas sin recibir retribución económica alguna.

La integración de esta problemática en los estudios sobre biodiversidad permite enfrentarla de manera adecuada. El conocimiento de la biodiversidad del suelo de conservación en la ciudad de México se basó en: 1) definir la riqueza biológica de la zona y el nivel de deterioro al que están sujetas las especies de flora y fauna silvestre, con base en lo cual se puede elaborar programas de rescate y conservación; 2) identificar elementos susceptibles de aprovechamiento alternativo sustentable que posibiliten promover el desarrollo económico del área rural; y 3) definir opciones de diversificación productiva, estrategias y programas de inspección y vigilancia que garanticen la protección, conservación y restauración de los servicios ecosistémicos de la microcuenca, con la bondad adicional de fungir como plataforma sólida para reordenar y justificar las categorías y regulaciones de los usos del suelo comprendidas en el Programa general de ordenamiento ecológico del Distrito Federal.

Los diversos estudios emprendidos convergen en un diagnóstico ambiental para obtener información sobre la estructura de las comunidades vegetales y acuáticas y el funcionamiento del ecosistema, que permitan proponer acciones y metas concretas para que se puedan ejecutar de forma coordinada a través de un plan de gestión por las autoridades locales y los dueños de la tierra, en un contexto de gestión de los socioecosistemas. Esta microcuenca provee de servicios ecosistémicos a los habitantes de la ciudad, es una zona de recreo y algunas personas locales reciben dinero por trabajar ahí.

## ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca del Río Magdalena tiene aproximadamente 3,000 hectáreas, y contiene a uno de los últimos ríos permanentes de la ciudad. Se localiza en el límite surponiente del Distrito Federal, entre las delegaciones La Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa. Tiene una longitud de 21.6 km, donde el 53% (11.4 km) se encuentran en el área natural y el 46% (10.1 km) en el área urbana. Forma parte de la Cordillera volcánica transmexicana, con un gradiente altitudinal que va de 2,470 metros en el noreste a 3,850 en el suroeste; se presentan tres tipos climáticos (García, 1988) que son el primero un C(w2)(w): templado sub-húmedo, se presenta a partir de la zona urbana hasta el pie de monte, en un intervalo altitudinal de 2,450 a 2,800 msnm, donde se desarrolla la comunidad de bosque Mixto y de *Quercus*; el segundo, un C(e)(w2)(w): semifrío sub-húmedo, que se presenta en las laderas de montaña a una altitud de 2,800 a 3,600 msnm donde se encuentra la comunidad de *Abies religiosa* siendo los más extendidos y el tercero, un C(e)(m)(w): semifrío húmedo, que se presenta en las partes altas de la cuenca, por arriba de los 3,600 msnm, en el bosque de *Pinus hartwegii*.

## METODOLOGÍA

En el Macroproyecto Manejo de ecosistemas y desarrollo humano, y por ende en el referente de la microcuenca del Río Magdalena, se consideró el manejo de los ecosistemas como aquel que es propuesto con metas explícitas, las cuales son ejecutadas mediante políticas, protocolos y prácticas específicas diseñadas mediante la acción participativa y adaptativa, a través del monitoreo, la investigación y el aprendizaje colectivo. Este planteamiento enfoca el trabajo hacia un mejor entendimiento de las interacciones y los procesos ecológicos, así como hacia las reglas de interacción sociales y los procesos de cooperación que conducen al ordenamiento, la conservación, el uso y la restauración sustentables de los ecosistemas que son indispensables para el desarrollo humano. De acuerdo a esta definición, el proyecto se desarrollo bajo un marco conceptual que incluyó tres rutas de intervención que fueron: técnica, comunicativa e institucional (Castillo *et al.* 2005).

Se estudio el ecosistema desde tres perspectivas básicas: la física, la biológica y la social, con el fin de identificar los servicios ecosistémicos, la calidad forestal y el nivel de deterioro ambiental, para después proponer intervenciones encaminadas al ordenamiento, uso, restauración y aprovechamiento sustentable de los servicios ecosistémicos de esta zona, y que pudieran resultar de utilidad para aplicar medidas similares en otras áreas de la ciudad.

La ruta de intervención técnica comprendió las prácticas sustentables de manipulación del ecosistema, de acuerdo al conocimiento ecológico del mismo. En esta ruta se definió el ecosistema y se identificaron claramente los elementos más relevantes de los procesos ecológicos, las escalas y los componentes del ecosistema que inciden en el control y/o mantenimiento de su integridad estructural y funcional, los cuales se incorporaron al esquema de manejo. La ruta de intervención comunicativa incluyo la elaboración del escenario relacionado con la generación y la discusión de la información, provenientes de los diferentes sectores sociales que participan en el proceso de manejo. Esta ruta comunicativa se constituye como un elemento integrador, al permitir la articulación del conocimiento y la discusión de los sistemas ecológicos y sociales para diseñar las estrategias que logren el ordenamiento, la conservación, el uso y la restauración del ecosistema en estudio. Finalmente, la ruta de intervención institucional incluyó las prácticas de transformación de las reglas de interacción social que están relacionadas con el manejo de los ecosistemas. Inició con una evaluación y síntesis de las instituciones políticas, económicas y jurídicas que regulan las actividades de manejo en que participan los actores involucrados en el territorio. Incluyó las percepciones cotidianas de la interacción social. Lo anterior, permitió definir el socio-ecosistema, identificando claramente los valores, las conductas, las instituciones y las políticas más relevantes que repercuten en el control y/o mantenimiento de la integridad estructural y funcional de los ecosistemas (Castillo *et al.* 2005).

Para conocer el componente biofísico, se realizaron recolectas estacionales de los diferentes grupos biológicos, se estudió a los tres diferentes tipos de vegetación, se valoró el balance hídrico de la microcuenca, se realizó la caraterización geomorfológica de la zona, y valoraciones de captura de

carbono, se determinó el funcionamiento de la vegetación así como su estructura. En el ámbito social, se realizaron diferentes estrategias de comunicación con la comunidad ejidal, donde se logró generar el mapa de los actores clave compuesto por comuneros, representantes del gobierno local, grupos organizados para la construcción de la estructura social de la zona de estudio en la Magdalena Contreras. Para aproximarse a la evaluación del funcionamiento del ecosistema, se definieron para la microcuenca del río Magdalena unidades de paisaje similares en tipo de relieve, vegetación y suelo.

## RESULTADOS

Como resultado de la integración de información generada por los distintos grupos de trabajo participantes, se evidenciaron varios factores que provocan deterioro en la microcuenca, como la fragmentación de los bosques, que es causada en gran parte, por el avance no planificado de la mancha urbana en forma de asentamientos irregulares. En algunas zonas de la parte alta, el uso del ganado y la consecuente alteración de la vegetación. Los bosques fragmentados fueron más susceptibles a daños y cambios en estructura y composición. Las unidades de paisaje más vulnerables a incendios forestales fueron las que se encuentran en la parte alta de la microcuenca, donde se encuentra el bosque de *Pinus hartwegii*. Con estos cambios, la biodiversidad se encuentra en grave riesgo, y también los servicios ecosistémicos. En la zona de estudio, han ocurrido históricamente 157 incendios forestales, entre enero y mayo. La mayor parte en 1998 (80) y de los últimos en 2004. Estos han afectado principalmente la zona media de la microcuenca, que esta conformada por vegetación de *Abies religiosa* y en la parte alta, al Bosque de *Pinus hartwegii*, pero los mayores efectos se han dado en la parte baja, en los bosques de *Quercus* spp.

En relación a la biodiversidad, el Bosque de *Abies religiosa* presentó la mayor riqueza de especies con 420, siendo las plantas, las algas, las aves y los hongos los principales representantes, seguida del Bosque de *Quercus* con 362, siendo las plantas, las aves, las algas y los insectos sus principales referentes, el Bosque de *Pinus hartwegii* con 305, siendo las plantas, las aves, los mamíferos y los hongos sus representantes en orden de importancia, el Bosque mixto con 126, siendo las aves, las plantas y los insectos sus referentes, la Zona urbana con 77, resaltando las algas, las aves y los insectos y el Pastizal con 70 especies, conformada por las aves, los mamíferos y los insectos (Almeida y Cantoral-Uriza, 2008; Cantoral-Uriza, *et al.*, 2009).

En relación a la producción de agua, empleando el modelo de Thornthwaite, la microcuenca produce 20 millones de m<sup>3</sup> al año que es igual a 0.63 m<sup>3</sup>/seg, siendo el Bosque de *Abies religiosa* el que genera la mayor cantidad con 10,091,000 m<sup>3</sup>, seguido por el Bosque de *Pinus hartwegii* con 8,199,360 m<sup>3</sup> y finalmente el Bosque de *Quercus* con 1,020,182 m<sup>3</sup> (González, 2008; Jujnovsky *et al.* 2010, 2012).

La composición social esta conformada por 25,582 personas que habitan en la microcuenca del Río Magdalena, existen 5 comunidades, donde la Magdalena Atlitic posee la mayoría de la tenencia de la tierra, seguida por San Nicolás Totolapan, que ha sido la mejor organizada y la que ha trabajado de forma coordinada con diferentes instancias gubernamentales en pro de sus bosques y sus

recursos naturales. Sus principales preocupaciones son el agua en cantidad y calidad, así como la pérdida de vegetación, que les genera un interés por llevar a cabo acciones de reforestación. El 12 % de los habitantes de la microcuenca sufren una fuerte exclusión social (Ramos, 2008).

## DISCUSIÓN

Las unidades del Bosque de *Abies religiosa* en el paisaje presentan una composición distinta que se refleja en cierta forma el grado de conservación y perturbación (Santibáñez-Andrade, 2009). La distribución de las especies vegetales es heterogénea, diferencial y algunas de ellas son indicadoras del nivel de conservación de la zona. En relación al estrato arbóreo la estructura y la densidad han sido factores que indican el estado de las unidades de paisaje. Presenta el mayor número de especies de la microcuenca y produce la mayor cantidad de agua (Jujnovsky *et al.* 2010). Se ha registrado que aquellas con mayor afluencia e influencia humana que se encuentran a menores altitudes y con mayor acceso han sido las más afectadas con altos niveles de perturbación que las unidades con mayor altitud y de menor acceso. Sin embargo, es necesario hacer estudios más detallados de los factores abióticos que intervienen en la dinámica de la comunidad y su relación con el nivel de conservación. Además se tienen registrados otros factores que pueden ser útiles para elaborar un índice de perturbación que nos indique el estado de cada unidad del paisaje. Con esta información será posible determinar un manejo específico y un plan adecuado de restauración. Con esto se verán beneficiados los pobladores de las diferentes comunidad ejidales, ya que será una herramienta para detectar y detener el deterioro del ecosistema y podrá seguir brindando los servicios ecosistémicos como la provisión de agua, la captura de carbono, prevención de la erosión y deslaves, además de la recreación.

Las áreas naturales protegidas en el Distrito Federal, y en especial el suelo de conservación ecológica Contrerense, deben ser valoradas por sí mismas y por todos los servicios ecosistémicos que brindan a la ciudad. Una manera de hacerlo es adoptando el enfoque de cuenca y por el conocimiento de su biodiversidad (Cantoral *et al.* 2009), ya que a partir del análisis de esta información biológica se pueden tomar decisiones y elaborar estrategias de intervención de forma coordinada con los principales actores involucrados, específicamente, las autoridades de la delegación La Magdalena Contreras y la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, garantizando al mismo tiempo la continuidad de las actividades socioeconómicas y la obtención de beneficios socioambientales en el área para los pobladores.

La gestión del agua a nivel de cuenca es un fuerte punto de interés para los diferentes actores en el territorio, que permite tomar decisiones de manera integral, involucrando las necesidades de los residentes y el funcionamiento de los ecosistemas. En este contexto, el uso de indicadores de la calidad del agua, como las algas, promete emprender programas de monitoreo, que permitan evaluar el estado de los sistemas acuáticos y poder realizar programas de vigilancia para valorar el grado de impacto de las acciones emprendidas en la microcuenca. Por lo tanto, se convierten en un indicador sensible para la vigilancia las acciones realizadas (Jujnovsky *et al.* 2010).

Por lo anterior, y dada la importancia de la zona de estudio, así como su vulnerabilidad ante el crecimiento urbano de la ciudad, es indispensable la elaboración de proyectos bajo un esquema de manejo integral de ecosistemas que permita a corto, mediano y largo plazo el mantenimiento de la



microcuenca hidrográfica. En particular, es de interés para los integrantes del proyecto participar, a corto plazo, en la Red Mexicana de Investigación Ecológica a Largo Plazo (Red Mex-LTER), que permita poner a esta microcuenca como un referente de seguimiento en el país, donde se genere información científica de la estructura y el funcionamiento, aplicada a la solución de problemas socioambientales en beneficio de los usuarios y dueños de la tierra, así como para el disfrute de algunos servicios ecosistémicos (Almeida-Leñero *et al.* 2007) como la belleza escénica por los visitantes de la microcuenca y la provisión de agua a los habitantes del surponiente de la Ciudad de México.

## LITERATURA

- Almeida-Leñero, L., L. Nava, A. Ramos, M. Espinosa, M. Ordoñez y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta ecológica, Instituto Nacional de Ecología*. Número especial 84-85: 53-64.
- Almeida, L. & Cantoral-Uriza, E. A. 2008. Magdalena, el último río de la ciudad de México. *Especies* (Enero-Febrero): 24-25.
- Cantoral-Uriza, E. A., L. Almeida, J. Cifuentes, L. León, A. Luis, A. Nieto, P. Mendoza, J. Villarruel, V. Aguilar, V. Ávila, H. Olguín & F. Puebla. 2009. La biodiversidad de una cuenca en la Ciudad de México. *Ciencias* 94 (Abril-Junio): 28-33.
- Castillo, A., A. Torres, G. Bocco y A. Velázquez. 2005. The use of ecological science by rural producers: a case study in Mexico. *Ecological Applications* 15(2): 745-756.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Offset Larios, D.F., México, 217 pp.
- García-Oliva, F., I. Casar, P. Morales, y J.M. Maass. 1994. Forest to pasture conversion influences on soil organic carbon dynamics in a tropical deciduous forest. *Oecologia* 88: 362-366.
- González-Martínez, T.M. 2008. *Modelación hidrológica como base para el pago por servicios ambientales en la microcuenca del río Magdalena, Distrito Federal*. Tesis de Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro, México, 137 pp.
- Jujnovsky, J., L. Almeida-Leñero, M. Bojorge-García, Y. L. Monges, E. Cantoral-Uriza & M. Mazari-Hiriart. 2010. Hydrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena River, Mexico City. *Hidrobiológica* 20 (2): 113-126.
- Jujnovsky, J., T. González-Martínez, E. Cantoral-Uriza & L. Almeida-Leñero. 2012. Assessment of Water Supply as an Ecosystem Service in a Rural-Urban Watershed in Southwestern Mexico City. *Environmental Management*. DOI 10.1007/s00267-011-9804-3.
- Maass, J.M. 2003. Principios generales sobre manejo de ecosistemas. In: Sánchez, O., E. Vega-Peña, E. Peters, O. Monroy-Vilchis (eds), *Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México*. INE, U.S Fish and Wildlife Service, Ford Foundation, México, pp 117-136.
- Ramos, A. 2008. Propuesta de reclasificación y zonificación participativa de la Zona Protectora Forestal Cañada de Contreras, Distrito Federal, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 99 p.
- Santibáñez-Andrade, G. 2009. Composición y estructura de Bosque de *Abies religiosa* en función de la heterogeneidad ambiental y determinación de su grado de conservación en la cuenca del Río Magdalena, México., D. F. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D. F. 134 p
- Sarukhán, J. y J.M. Maass. 1990. Bases ecológicas para un manejo sostenido de los ecosistemas: el sistema de cuencas hidrográficas. En: E. Leff (ed.), *Medio ambiente y desarrollo en México*, vol. 1, México, UNAM-Porrúa, 81.14.



# EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS SOCIO-AMBIENTALES DE LOS PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN EN LA COMUNIDAD DE SAN MIGUEL Y SANTO TOMÁS AJUSCO, MÉXICO<sup>2</sup>

María PEREVOCHTCHIKOVA e Iskra A. ROJO NEGRETE

Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales, El Colegio de México A.C.  
Av. Camino al Ajusco 20, Col. Pedregal de Santa Teresa, Del. Tlalpan, CP 10740, México, DF.  
E-mails: [mperevochtchikova@colmex.mx](mailto:mperevochtchikova@colmex.mx) , [iskra90@hotmail.com](mailto:iskra90@hotmail.com)

## RESUMEN

Para la conservación de los ecosistemas que proveen múltiples beneficios en forma de bienes y servicios ambientales (SA), se han desarrollado a nivel internacional varias herramientas de política pública ambiental, una de las cuales es referente a los esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), donde se compensa económicamente a los propietarios de los terrenos que contienen recursos naturales por realizar acciones que contribuyan al mantenimiento y provisión de diversos SA. En México el programa federal de PSA se estableció en 2003 bajo la tutela de la Comisión Nacional Forestal, y en el Distrito Federal ha funcionado desde el mismo año. En el caso de estudio de la Comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, ubicado en el Suelo de Conservación del Distrito Federal (al sur de la Cuenca de México), el programa de PSA se ha enfocado en la modalidad de Hidrológicos y ha acumulado 5,087 hectáreas con cubierta forestal en el periodo de 2003-2012. Detectando las faltas dentro de la implementación de este instrumento, el objetivo del presente estudio se concentra en desarrollar un sistema de evaluación de los efectos socio-ambientales que producen programas de conservación en la población y los ecosistemas. El avance del trabajo de campo y recopilación bibliográfica realizados revelan una organización social importante alrededor de la gestión del bosque; con una optimización de uso de recursos económicos provenientes de diversos fondos. En el ámbito ambiental, se ha avanzado en el análisis de las condiciones físico-geográficas del territorio y en las primeras mediciones de caudal y calidad del agua, en conjunto con el análisis de las condiciones hidroclimatológicas históricas regionales. El resultado a que se pretende llegar es la identificación de aspectos sociales y ambientales relevantes para el monitoreo a futuro, que pretende convertirse en el comunitario, y de esta manera permita la evaluación continua a largo plazo de los efectos de programas de conservación, implementadas en las partes altas de las cuencas que poseen recursos naturales asociados a diversos servicios ambientales, incluyendo el mantenimiento del ciclo hidrológico.

**Palabras clave:** programa de Pago por Servicios Ambientales, efectos socio-ambientales, monitoreo, Distrito Federal.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para la conservación de los ecosistemas forestales que proveen diversos beneficios para la sociedad en forma de bienes y servicios ambientales (SA), se han desarrollado a nivel internacional diversas herramientas de política pública ambiental referentes a los programas concretos y acciones de preservación y cuidado de la naturaleza. Una de éstas que además ha alcanzado un amplio

---

<sup>2</sup> Extenso presentado para el III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas – Morelia 2013.

reconocimiento a escala mundial (a casi dos décadas desde su formulación), es el mecanismo de Pago por Servicios Ambientales (PSA), donde se compensa económicamente a los propietarios de terrenos proveedores de SA por la conservación del uso del suelo actual.

En México, el programa federal de PSA se lleva a cabo desde 2003 bajo la tutela de la Comisión Nacional Forestal, CONAFOR (DOF, 2010). Desde su inicio en la modalidad de Hidrológicos, a lo largo de los años el programa ha cambiado su formulación, igual que las Reglas de Operación y criterios de selección de las zonas elegibles. A pesar de esto, es importante reconocer su avance ya que para 2010 se ha logrado cumplir las metas establecidas para 2012, incorporado 2,767 millones de ha, 5400 propietarios e invirtiendo 5,289 millones de pesos ([www.conafor.gob.mx](http://www.conafor.gob.mx)); convirtiéndose de este modo en uno de los programas más importantes a nivel mundial (Perevochtchikova y Ochoa, 2012).

Por otro lado en el proceso de la implementación del programa se han identificado diversas problemáticas, como los pagos mínimos considerados como subsidios, la falta de las evaluaciones, la cuantificación y el monitoreo de los SA y sus beneficios sociales económicos y ambientales, igual que la falta de capacitación profesional, el fortalecimiento institucional e investigación científica (Perevochtchikova and Vázquez, 2012). Por lo que los mecanismos de tipo PSA no deberían considerarse como una panacea en la conservación ambiental, sino como una de las herramientas de política pública dedicada a resolver la situación de la degradación ambiental y deforestación producida por la intervención humana, que requiere de una evaluación y mejoras constantes.

En virtud de esto el objetivo principal del presente trabajo se ha enfocado en ofrecer una primera aproximación para la evaluación de los efectos sociales y ambientales de los programas de conservación, incluyendo el de PSA, con el caso de estudio de la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, ubicado en el Distrito Federal, México.

## **2. ANTECEDENTES**

Los servicios ambientales (SA) son definidos como las condiciones y procesos de los ecosistemas naturales que éstos proveen a la gente y la sociedad en general (Daily, 1997). Los SA son clasificados en virtud de la función que cumplen: i) de abastecimiento (provisión de agua y alimentos), ii) regulación (de ciclos biogeoquímicos, hídricos, etc.), iii) culturales (estéticos, recreativos y espirituales) y iv) de soporte (aquellos que sostienen la existencia de todos los demás servicios y de la vida misma), basados en la formación de suelo y producción primaria. En este sentido, existen cuatro grupos de los servicios ambientales más reconocidos: de biodiversidad, paisaje, captura de carbono e hidrológicos (MEA, 2005).

Cabe destacar que a pesar de que el tema de conservación ambiental se ha consolidado a nivel mundial desde hace cuatro décadas; el concepto de SA se presentó bastante reciente, en específico con las publicaciones de Constanza and Daly (1992), y posteriormente Constanza *et al.* (1997), Daily (1997) y Postel and Carpenter (1997). Consecutivamente, el término de SA ha sido aceptado y validado en varios eventos y documentos de influencia internacional, como la Declaración de Río en 1992 (cuando se introdujo el término), el Protocolo de Kyoto en 1997 (donde se plantearon

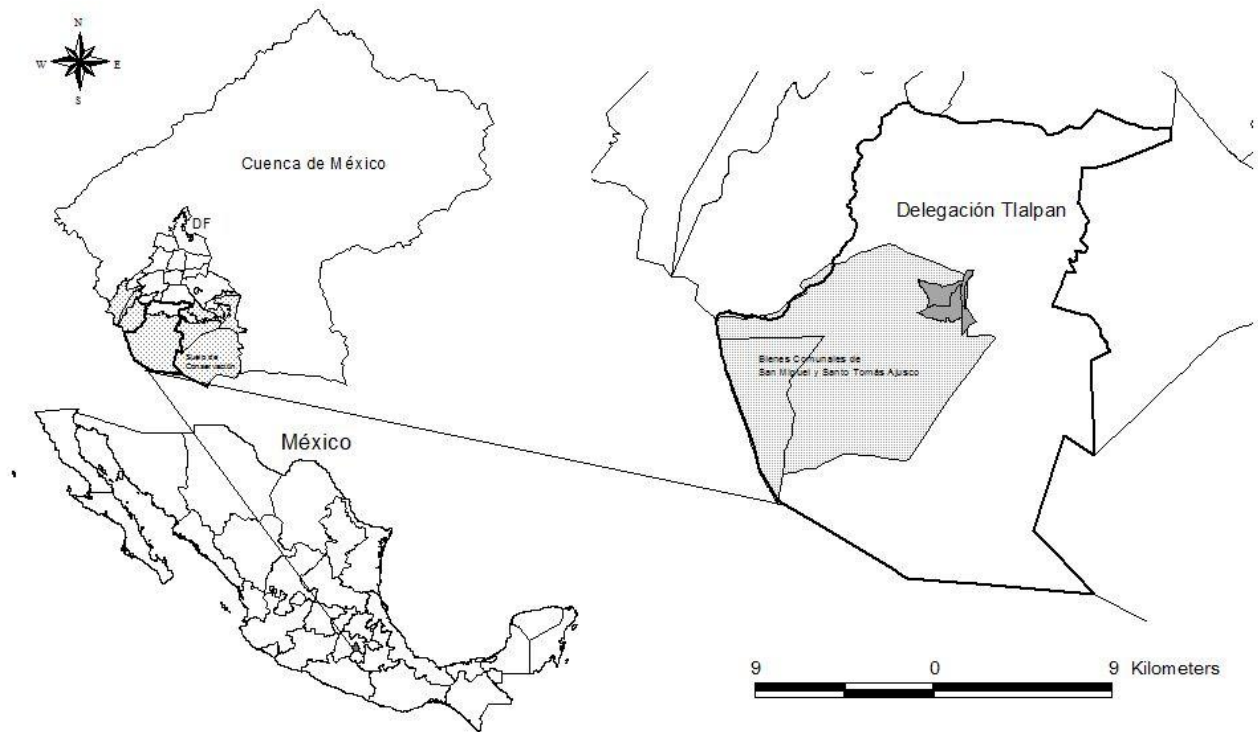
primeros mecanismos de compensación por SA) y la Cumbre de Johannesburgo en 2002 (con la introducción de aspecto de la pobreza a los mecanismos de pago por SA).

En el caso específico de los PSA en la modalidad de Hidrológicos (PSAH), se otorga una compensación económica a los dueños de los terrenos ubicados en las partes altas de las cuencas hidrográficas, que decidan preservar sus áreas forestales, con fines de proporcionar servicios hidrológicos a la sociedad, en particular relacionados con la conservación de las zonas de recarga de agua subterránea (González *et al.*, 2004; Greenwalt and McGarth, 2009; Cordero, 2008; Muñoz *et al.*, 2008). En este proceso existe una serie de actores involucrados directamente, desde los proveedores de los servicios (quienes reciben el pago, renunciando a otros usos del suelo), hasta los usuarios de los SA y el gobierno que administra y financia los programas, e incluso las Organizaciones No Gubernamentales (ONG), en caso de iniciativas locales (Villavicencio, 2009; Rosa y Kandel, 2002; Wunder, 2007; Wunder *et al.*, 2008).

Actualmente existe una amplia bibliografía dentro del tema de estudios de esquemas de PSA en diversos países de América Latina (Costa Rica, Bolivia, Perú, Ecuador, Panamá, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Guatemala, Colombia, Brasil, Argentina, México, Canadá y Estados Unidos), Europa (Inglaterra, España, Holanda, Francia, Alemania, Noruega, Dinamarca, Suecia, Suiza y Eslovenia), Asia (China, India, Vietnam, Indonesia y Japón), África (Sudáfrica, Tanzania y Madagascar) y Oceanía (Nueva Zelanda y Australia), según Balvanera *et al.* (2012), Molnar and Kubiszewski (2012), Ulgiati *et al.* (2011), McElwee (2012), Butler *et al.* (2011), Gross-Camp *et al.* (2012). Que se caracteriza por una creciente tendencia del número de las publicaciones con el tiempo y de una manera exponencial en la última década, además con una notable diferencia en enfoques y técnicas aplicadas.

### 3. PROBLEMÁTICA LOCAL

La zona de estudio de la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco está ubicada al suroeste del Distrito Federal (la capital del país), en la porción central del territorio nacional (Fig. 1). Geográficamente, su posición corresponde con las parte-aguas de la Cuenca de México (una cuenca hidrográfica cerrada), donde se cuenta con un clima templado, la precipitación anual promedio de 700 a 800 mm, y las lluvias distribuidas entre mayo y octubre. Las condiciones de clima y orografía favorecen la existencia de una gran diversidad de flora y fauna que proporcionan múltiples servicios ambientales a escala regional, incluyendo la regulación climática, la disminución de la contaminación eólica, el mantenimiento de la biodiversidad y del ciclo hídrico, entre otros.



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio.

La comunidad rural de San Miguel y Santo Tomás Ajusco cuenta con 7619.2 ha reconocidas por la reforma agraria, y un 45% de su territorio es cubierto por el bosque (pino, encino, oyamel), ubicado a una altitud de 2850-3940 msnm. Se tienen registrados por la Asamblea comunitaria 604 comuneros, de los cuales son 122 mujeres con título de posesión de la tierra; sin embargo, en todo el pueblo viven cerca de 54 mil habitantes (entre los comuneros, familiares y avecindados).

Por la cercanía a las oficinas gubernamentales de la capital y propio deseo de progresar, la comunidad ha participado activamente en múltiples proyectos y programas ambientales a nivel federal, estatal y delegacional, incluyendo el de PSA. En específico, la comunidad ha aplicado al programa federal de PSA en la modalidad de Hidrológicos desde 2004, logrando abarcar para 2012 un total de 5,087 ha (Sandoval y Gutiérrez, 2012:74-79; García Santillán, 2012). Adicionalmente, desde 2012 la comunidad participa en el mecanismo llamado Fondos Concurrentes, financiado por la CONAFOR en conjunto con el ICA (Ingenieros Civiles Asociados), con 220 ha y el apoyo económico más alto del país (1600 pesos/ha/año), que es primero en aplicarse en el Distrito Federal.

Es importante comentar aquí que el ingreso obtenido de los programas de conservación es juntado por la comunidad con el propósito de poder sostener la realización de diversas actividades de conservación ambiental en forma continua; por lo que es sumamente difícil distinguir entre los efectos (sobre todo económicos) que deja el PSA.

## 4. METODOLOGÍA

Como se vio anteriormente, en dos décadas desde la determinación del concepto de los SA, se ha generado una gran cantidad de publicaciones internacionales en el tema (Balvanera *et al.*, 2012), que incluye una serie de evaluaciones de los esquemas de PSA. Cabe destacar que los últimos se han trabajado desde diferentes enfoques, como las ciencias naturales (Costanza *et al.*, 1997), las sociales (Chomitz *et al.*, 1998), y hasta han surgido algunas (pocas) aproximaciones interdisciplinarias (Tianhong *et al.*, 2008). Bajo esta perspectiva, se puede decir que los estudios de los esquemas de PSA se basan en distintas teorías y técnicas, donde predominan los análisis de carácter económico y hace falta fortalecer la visión integral.

De este modo se ha decidido dentro de la presente investigación utilizar dos enfoques (social y natural), con base en la combinación de los trabajos de gabinete y de campo, aplicando diferentes técnicas para el descubrimiento de cada caso. En particular, para el aspecto social se acudió a la teoría de Acción Colectiva (Ostrom, 2000), con base en la aplicación de entrevistas semi-estructuradas a actores clave y encuestas a distintos grupos de la comunidad (trabajadores, comuneros, etc.), con el posterior procesamiento de los datos adquiridos en gabinete y discusión de los avances en seminarios académicos. Enfocando las entrevistas y encuestas al análisis de la percepción de los efectos por los mismos actores con base en cinco grupos de criterios: datos generales, desempeño operativo, efecto social, económico y ambiental (Perevochtchikova and Vázquez, 2012). Todo esto con el fin de entender cómo funciona la organización comunal y poder determinar los beneficios y afectaciones que produce el programa de PSA.

Para el aspecto ambiental se tomó como teoría principal la de de Sistemas de flujo de agua subterránea (Toth, 2000), con el uso de las técnicas, como salidas de campo con observación participativa, instalación de una estación climatológica cuenca arriba y muestreos in situ (con toma de muestras de cantidad y calidad del agua); con el posterior análisis de los datos en gabinete. Todo esto con el objetivo de entender el funcionamiento de flujos de agua superficial y subterránea, con el apoyo en el cálculo de balance hídrico y la medición de la calidad del agua. Para lo cual fue necesario desarrollar primero un esquema de monitoreo ambiental con base en el análisis previo de la información hidrometeorológica oficial y también obtenida en el trabajo de campo.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Aspecto social

En la parte de análisis de la organización social, se realizó un análisis comparativo entre dos grupos dentro de la comunidad de San Miguel y Santo Tomas Ajusco, DF. El primer grupo incluyó 108 personas que participan directamente en las actividades de conservación, sostenidas por los recursos económicos provenientes de diferentes programas gubernamentales y locales, incluyendo el de PSA (de 120 personas en total). En el segundo grupo fueron encuestados los comuneros con título durante una de las Asambleas comunitarias, que tienen el poder decisivo sobre las acciones que se realizan en los Bienes Comunales; logrando reunir 131 respuestas (de un total de 250 presentes).

Se vio en ambos grupos que la mayoría son originarios y viven en la comunidad, en los dos están presentes los funcionarios comunitarios, y en el de trabajadores participan un 9% de los comuneros con título, además de los familiares. Se diferencian los grupos en relación a la edad, la composición

por género, el número de miembros en la familia y el grado de escolaridad. En particular, el grupo 1 es más joven, con mayor presencia de las mujeres, mayor grado de escolaridad y en general más activo; con mejor conocimiento del tema e incluso del programa de PSA. El grupo 2, con poder decisivo, prácticamente no participa en los programas, ni se ve beneficiado por éstos, por lo que no detecta beneficios sociales, ambientales y/o económicos para ellos.

Finalmente, las encuestas muestran opiniones favorables acerca de la aplicación de los programas de conservación por generar beneficios en el ambiente (preservación ecosistémica) y en la comunidad (mayor organización, unión, más trabajo e ingresos). Presentando las mismas inquietudes acerca de la falta de aun más trabajo en la comunidad en conservación ambiental, además de que sea permanente y con un mayor ingreso. Se nota también una falta del conocimiento práctico para el manejo del bosque, lo que requeriría una capacitación de los participantes y la realización de la investigación científica en múltiples aspectos (sociales, ecológicos, hidrológicos, entre otros). Sin embargo, lo que sí se confirma, es que el éxito de las actividades de conservación se basa en la acción colectiva y la organización interna de la comunidad (Poteete *et al.*, 2010) que desarrolla sus actividades hacia el mismo fin, sin importar quién toma la decisión y quién la realiza.

Cabe destacar que recientemente se han realizado también las entrevistas a profundidad a los integrantes de la administración de la comunidad y a los representantes de los grupos productivos para obtener la visión de su percepción al respecto. Por otro lado, para complementar esta posición, se entrevistaron los funcionarios de la CONAFOR a los niveles ejecutivo y operativo. Estos datos se encuentran aun en el procedimiento.

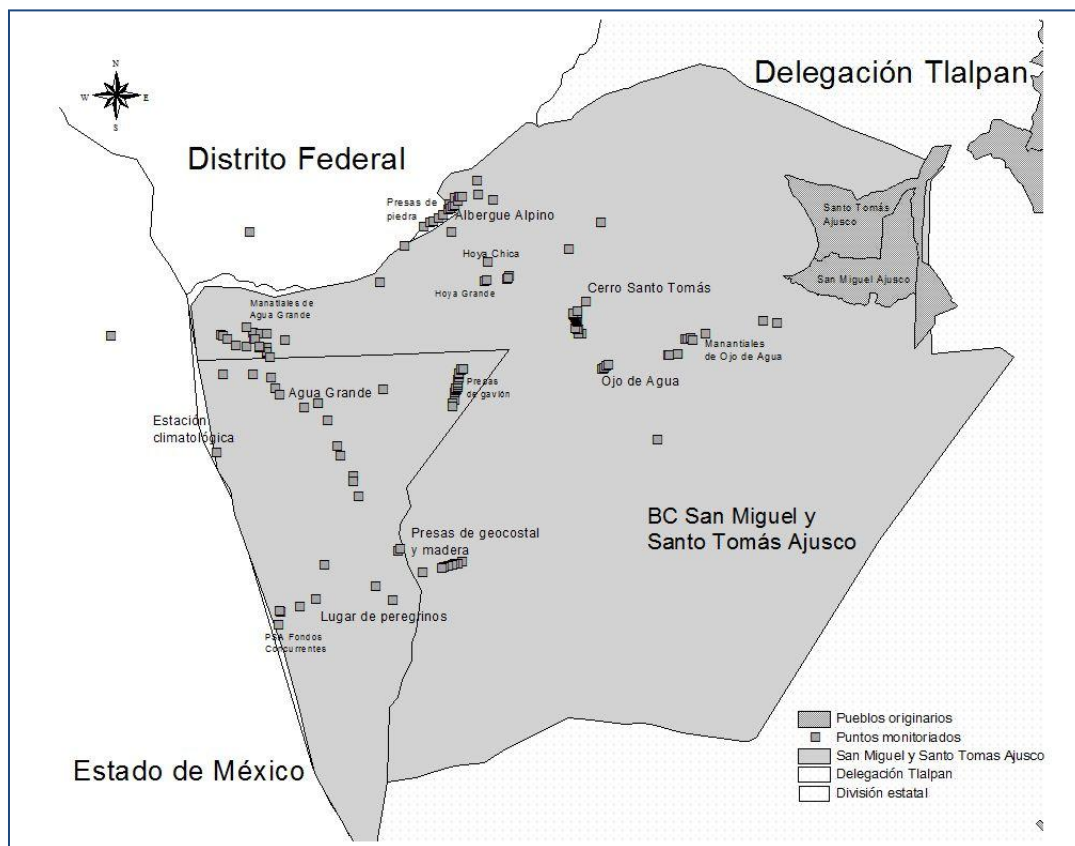
## **5.2. Aspecto ambiental**

En lo ambiental se realizaron las siguientes acciones: i) se instaló una estación climatológica automática en la parte más alta de la cuenca que funciona actualmente bajo el resguardo de la comunidad; ii) en conjunto con la comunidad hubo participación en varios eventos y se hicieron los primeros recorridos de reconocimiento del terreno; iii) se realizó el trabajo de campo para el muestreo hidrogeológico *in situ*, que incluyó recientemente la toma de muestras de calidad en los puntos de escurrimiento permanente; iv) se enviaron las solicitudes y se obtuvo la información del Servicio Meteorológico Nacional (de 14 estaciones climatológicas) y de la Comisión Nacional del Agua (de 4 estaciones hidrométricas); v) se hizo la revisión bibliografía dentro del tema y de la zona de estudio; vi) y se preparó un SIG específico para la zona.

Al respecto cabe señalar que en los últimos meses se procesaron los datos hidroclimatológicos de las estaciones climatológicas, dejando de las 14 más cercanas a la zona de estudio sólo 4 por su representatividad y periodo de observación, y de las 4 estaciones hidrométricas correspondientes. En el análisis se construyeron las gráficas de la temperatura, la radiación solar, la dirección del viento, la precipitación y el caudal medio, máximo y mínimo anuales, y se determinaron sus interrelaciones y tendencias históricas, distintas en ciertos casos dado que indican hacia la disminución o aumento en relación a la influencia antrópogénica. Sin embargo, los datos obtenidos tienen un carácter regional que a la hora de análisis a escala local requirieron de la información adicional que fue posible obtener gracias al trabajo de campo realizado y la instalación de la estación climatológica (obtenida con los recursos de la Red del Agua del CONACYT).



De esta manera en el trabajo de campo se recorrieron y observaron los principales sitios de interés hidrológico en el territorio de la comunidad, como los manantiales y cauces de los escurrimientos perennes, intermitentes y secos, las presas de control de inundaciones (de gavión, de madera y de mampostería), entre otros lugares, como los de aplicación del programa de PSA, centros de recreación, peregrinación, etc. (Fig. 2). En esta fase de trabajo se aplicó el muestreo in situ de caudal, temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos. Con base en el análisis de esta información se determinaron 15 sitios para llevar a cabo la toma de muestras de la calidad físico-química del agua, que se plantea realizar tres veces al año (al final de la temporada seca, durante las lluvias y al final de la época húmeda). Cabe señalar que el primer muestreo ya se llevó a cabo, por lo cual se espera pronto contar con los resultados de análisis de las muestras que fueron sometidos al laboratorio de edafología del Instituto de Geología de la UNAM.



**Figura 2.** Ubicación de los puntos de muestreo in situ (Fuente: trabajo de campo, 2012).

Como retos para el periodo de 2013-2014 se puede pensar en la elaboración de un modelo hidrogeológico en primera aproximación, el seguimiento con las muestras de la cantidad y calidad del agua tres veces al año en los puntos determinados en la etapa anterior, y la construcción de dos perfiles hidrogeológicos (horizontal y vertical del terreno de la comunidad, además de dos perfiles longitudinales de los cauces más importantes de la comunidad). Todo esto con el propósito de proponer una herramienta práctica que sirva para el cálculo de los SA hidrológicos (que ofrece el

territorio y los recursos naturales de la comunidad) y poder realizar acciones de medición y control necesarios, que por su parte mejorará este instrumento de política pública ambiental, planteado desde la perspectiva de la conservación de las zonas de recarga de cuencas hidrográficas.

## 6. CONCLUSIONES

El avance del trabajo de campo y recopilación bibliográfica realizados revelan una fuerte organización social por parte de la comunidad para la gestión del recurso de uso común que es el bosque; además con una optimización del uso de recursos económicos provenientes de diversos fondos. En el ámbito ambiental, se ha avanzado en el análisis de las condiciones físico-geográficas del territorio y en las primeras mediciones de caudal y calidad del agua, con conjunto con las condiciones hidroclimatológicas históricas y regionales.

El resultado a que se pretende llegar en un futuro próximo es la identificación de aspectos sociales y ambientales relevantes para el monitoreo, que puede convertirse en el comunitario, y de esta manera permita la evaluación continua y a largo plazo de los efectos de programas de conservación, implementadas en las partes altas de las cuencas que poseen diversos recursos naturales asociados a varios servicios ambientales, incluyendo el mantenimiento del ciclo hidrológico, inmersos en un complejo contexto social.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento del proyecto 155039 de Ciencia Básica. De manera igual se agradece a la disposición y el apoyo continuo por parte de la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, y en especial al asesor técnico de la comunidad Moisés Reyes Flores, también a Don Jorge y Héctor. Por otro lado, damos las gracias y reconocemos la labor de Zenia Saavedra y María Nely Almaraz en el trabajo de campo y de Natalia Lukianova en el procesamiento de la información hidroclimatológica.

## BIBLIOGRAFÍA

Balvanera, P., Uriarte, M., Almeida-Leñero, L., Altesor, A., De Clerck, F., Gardner, T., Hall, J., Lara, A., Laterra, P., Peña-Claros, M., Silva-Matos, D.M., Vogl, A.L., Romero-Duque, L.P., Arreola, L.F., Caro-Borrero, A., Gallego, F., Jain, M., Little, C., de Oliveira Xavier R., Paruelo, Jo. M., Peinado, J. E., Poorter, L., Ascarrunz, N., Correa, F., Cunha-Santino, M.B., Hernández-Sánchez, A.P. and Vallejos, M. 2012. Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. *Ecosystem Services* 2 (2012): 56-70.

Butler, J., Wong, G.Y., Metcalfe, D.J., Honzák, M., Pertc, P.L., Rao N., van Grieken, M.E., Lawson, T., Bruce, C., Kroon, F.J. and Brodie, J. E. 2011. An analysis of trade-offs between multiple ecosystem services and stakeholders linked to land use and water quality management in the Great Barrier Reef, Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (2011): 1-16.

Costanza, R., d Arge, R., De Groot ,R., Farber S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Oneill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and Vanden Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

Costanza, R. and Daly, H.E. 1992. Natural Capital and Sustainable Development. *Conservation Biology* 6 (1): 37-46.

- Cordero D. 2008. Esquemas de pagos por servicios ambientales para la conservación de cuencas hidrográficas en el Ecuador. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 17(1): 54-66.
- Chomitz, K.M., Brenes, E. and Constantino, L. 1998. *Financing environmental services: the Costa Rican experience and its implications*. Publication number 10. The World Bank, Washington DC.
- Daily, C.G., 1997. *Nature's Services: Social Dependence on Ecosystem Services*. Island Press, Washington DC.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2010. *Reglas de Operación del Programa ProÁrbol 2010*, 31/12/2009. SEMARNAT, Sexta Sección, México.
- García Santillán, A. 2012. *Monitoreo ambiental comunitario*. Materiales del Seminario “Servicios Ambientales en el Suelo de Conservación del DF”, COLMEX, México, DF.
- González, M., Aldrete, A., Gómez, A., de los Santos, H., Benavides, J., Vargas, J.J., Valdez, J.R., Hernández, P. y Fernández, S. 2004. *Evaluación del programa de pago de servicios ambientales hidrológicos (PSAH). Reporte final, ejercicio fiscal 2004*. CONAFOR y colegio de Postgraduados, México.
- Greenwalt, T. and McGrath, D. 2009. Protecting the City's Water: Designing a Payment for Ecosystem Services Program. *Natural Resources & Environment* 24 (1): 1-5.
- Gross-Camp, N., Martin, A., McGuire, S., Kebede, B. and Munyarukaza, J. 2012. Payments for ecosystem services in an African protected area: exploring issues of legitimacy, fairness, equity and effectiveness. *Fauna & Flora International, Oryx* 46 (1): 24–33.
- McElwee, P.D., 2012. Payments for environmental services as neoliberal market-based forest conservation in Vietnam: Panacea or problem? *Geoforum* 43 (2012): 412–426.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press. Washington, EUA.
- Molnar, J. L. and Kubiszewski, I. 2012. Managing natural wealth: Research and implementation of ecosystem services in the United States and Canada. *Ecosystem Services* 2 (2012): 45–55.
- Muñoz-Piña, C., Guevara, A., Torres, J.M. and Braña, J. 2008. Paying for the hydrological services of Mexico's forests: Analysis, negotiations and results. *Ecological Economics* 65: 725–736.
- Perevochtchikova, M. y Ochoa, A.M. 2012. Avances y limitantes del programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en México, 2003-2009. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3 (10): 89-112.
- Ostrom, E. 2000. *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva*. UNAM, CRIM, CFE, México.
- Perevochtchikova, M. and Vázquez, A. 2012. The federal program of Payment for Hydrological Environmental Services as an alternative instrument for Integrated Water Resources Management in Mexico City. *The Open Geography Journal* 5: 35-46.
- Postel, S. and Carpenter, S.R. 1997. *Freshwater ecosystem services*. In: G. Daily (editor) “Nature's services”. Island Press, Washington, USA, pp. 195-214.
- Poteete, A.R., Janssen, M.A. and Ostrom, E. 2010. *Working together. Collective Action, the Commons, and Multiple Methods in Practice*. Princeton University Press, UK.
- Rosa, H. y Kandel, S. (coord.). 2002. *Pago por servicios ambientales y comunidades rurales: contexto, experiencias y lecciones de México*. Informe elaborado en el marco del proyecto “Pago por Servicios Ambientales en las Américas”, PRISMA y Fundación Ford.
- Sandoval, E. y Gutiérrez, J. 2012. *Servicios Ambientales, experiencia federal en el Distrito Federal*. En: Campusano et. al. (coord.) “Hacia un manejo sustentable del Suelo de Conservación del Distrito Federal”, IPN, M.A. Porrúa, México, pp.74-79.
- Tianhong, L., Wenkai, L. and Zhenghan, Q. 2010. Variations in ecosystem service value in response to land use changes in Shenzhen. *Ecological Economics* 69 (7): 1427-1435.

Toth, J. 2000. Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. *Boletín Geológico y Minero* 111(4): 9-26.

Villavicencio, A. 2009. Propuesta Metodológica para un Sistema de Pago por Servicios Ambientales en el Estado de México. *Cuadernos Geográficos* 44 (2009-1): 29-49.

Ulgianti, S., Zucaro, A. y Franzese, P.P. 2011. Shared wealth or nobody's land? The worth of natural capital and ecosystem services. *Ecological Economics* 70 (4): 778-787 .

Wunder, S. 2007. *Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales*. Centro Internacional de Investigación Forestal (CIFOR) Occasional Paper No. 42 (s). (CIFOR) y el Grupo Consultivo Internacional en Investigación Agrícola (CGIAR). Indonesia.

Wunder, S., Engel, S. and Pagiola, S. 2008. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. *Ecological Economics* 65 (2008): 834–852.

## MESA IX

### IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE LA DINÁMICA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS



# CUENCAS DE LA BAHIA DE NAVIDAD, JALISCO: CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA Y DIAGNÓSTICO.

José MARISCAL ROMERO<sup>1</sup>, Tunuaury R.CHAVEZ GONZÁLEZ<sup>2</sup> y Judith ARCINIEGA FLORES<sup>3</sup>

[mariscal@costera.melaque.udg.mx](mailto:mariscal@costera.melaque.udg.mx) CUCSUR-Universidad de Guadalajara, Departamento de Estudios P/Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras <sup>2</sup> [tunuhaxy@yahoo.com.mx](mailto:tunuhaxy@yahoo.com.mx); <sup>3</sup> [jarcinie@costera.melaque.udg.mx](mailto:jarcinie@costera.melaque.udg.mx)

## RESUMEN

Bajo la hipótesis de que la modificación de las condiciones hidrográficas y geomorfológicas de la cuenca de Bahía de Navidad, Jalisco, México, representan un factor importante para la presencia de inundaciones sistemáticas, aluviones y parcialmente en la degradación ambiental de las dos lagunas costeras existentes, se realizó una caracterización hidrográfica del área de drenaje de la Bahía de Navidad, cuyos objetivos fueron: caracterizar las cuencas y elaborar un diagnóstico ambiental. Esta cuenca costera, se encuentra en territorio de cuatro municipios y de cuatro diferentes acuíferos. Se analizaron 27 parámetros cuantitativos relacionados con el tamaño, forma, orografía, edafología, vegetación, usos de suelo e hidrografía de tres “sub” cuencas que drenan a lo que denominaremos la cuenca hidrográfica de Bahía de Navidad. La orientación de las mismas, es de norte a sur y su recorrido es breve por lo que pueden considerarse pequeñas, aunque son similares, presentaron características diferentes entre ellas, cuyo conjunto permite entender de una mejor manera la influencia de cada una sobre el comportamiento hidrográfico de los ecosistemas de la bahía. Se define que la sub-cuenca Arroyo El Pedregal de peligrosidad alta impacta de manera independiente sobre el centro de población de San Patricio-Melaque, por otro lado, Arroyo El Organito de peligrosidad moderada impacta directamente en la laguna El Tule, mientras que la del Arroyo Seco de baja peligrosidad determina las condiciones hidrológicas de la laguna de Barra de Navidad, desembocando todas posteriormente al Océano Pacífico. El deterioro ambiental alta fragmentación y deforestación en el que actualmente se encuentran, aunado a especificidades hidrográficas, las hace altamente susceptibles a situaciones de riesgo y emergencia por inundaciones, aluviones y deslaves ante eventos climáticos, desde lluvias torrenciales a ciclones cuyo periodo de retorno ha disminuido durante los últimos años.

**Palabras clave:** Bahía de Navidad, Jalisco, Cuencas, Hidrografía, SIG.

## INTRODUCCION

En los trópicos, es particularmente evidente la falta de planeación y manejo de las presiones derivadas del crecimiento y necesidades de desarrollo de las poblaciones costeras, la implementación de nuevas tecnologías. En México los frecuentes cambios en las políticas de desarrollo, modifican los estilos de vida de las comunidades, de rural a urbano, por los efectos del turismo y presiones inmobiliarias derivadas del libre comercio. Esta visión liberal y desarrollista durante los últimos años en la costa de Jalisco hace que la región presente las más altas tasas de deforestación (Miranda, 1998), por lo que ha puesto en serio riesgo el funcionamiento natural de los ecosistemas (Holland et al., 2011). Un aspecto fundamental en el entendimiento del funcionamiento ecosistémico es la caracterización de una cuenca (Mas et al., 2009), tiene que ver con la forma, se trata de la configuración geométrica tal y como está proyectada sobre el plano horizontal (Llamas, 1993). Esta forma, gobierna la tasa a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura, por lo tanto determina el potencial de avenidas y/o inundaciones (Guilarte, 1978). La caracterización hidrográfica de una cuenca, es sólo una parte del diagnóstico integral de la misma, pues el

comportamiento histórico del conjunto de factores como calidad, composición bioquímica del agua, así como el rumbo que sigue a través de su cauce y afluentes temporales y perennes, permiten las dinámicas geomorfológicas históricas, y otros procesos ecológicos de funcionamiento, además de mantener los patrones reproductivos, la distribución de la biodiversidad y los servicios ambientales (Moberg y Ronnback, 2003), incluso la calidad de vida de la especie humana, que ha establecido sus asentamientos en las zonas de mayor abundancia de agua y con más elementos naturales, que contribuyen a la estética en la escenografía del paisaje (Turner, 1989). Este comportamiento agrega elementos económicos, políticos y culturales a manera de impactos ecológicos, que se reflejan en los cambios de uso de suelo que son importantes al momento de realizar la caracterización integral, ya que la vegetación original, como elemento fundamental del paisaje, es afectada por la actividad humana y ésta modificará de manera este importante soporte de vida.

## **MATERIAL Y METODOS**

Con base a la información vectorial de INEGI, de las cartas E13b41, E13b42, E13b31 y E13b32, e imágenes de satélite Landsat del área, se analizaron y construyeron: un modelo digital de elevación, así como mapas temáticos (topografía, hidrografía, uso de suelo y vegetación, edafología) propios (INEGI, 2000). Se delimitó la zona hidrográfica, siguiendo los parte-aguas de cada una: El Pedregal-San Patricio (P-SP), El Organito-Tule (O-T), Arroyo Seco-Barra de Navidad (S-BN) que desembocan en la misma. Posteriormente, a través del ArcView 3.1, se utilizó el método de pantalla (Campos, 1987) que consiste en realizar recortes de cada una de las coberturas de la información vectorial, a partir de ahí, como parte de la caracterización de cada una de las cuencas se calcularon los parámetros hidrográficos. Además se analizaron los cambios de uso del suelo y se obtuvieron los datos climáticos de la estación de Cihuatlán, construyendo las acumuladas de precipitación para su análisis de periodos críticos que afectaron con inundaciones, aluviones y deslaves las áreas urbanas de San Patricio Melaque.

## **RESULTADOS**

### **MODELO DIGITAL DE ELEVACION Y EDAFOLOGIA**

La bahía de Navidad se localiza en la región hidrológica RH15-A de México CUENCA: CHACALA-PURIFICACIÓN (CEA Jalisco, 2008), entre las cuencas de los Ríos Marabasco y Purificación. Es una pequeña cuenca costera hidrográfica marginal que posee una zona de captación de 506.27 km<sup>2</sup>, cuyo territorio corresponde espacialmente a cuatro municipios de Jalisco, sin embargo Cihuatlán presenta la mayor superficie (67.3%), seguido de Cuautitlán (21.2%), La Huerta (8.4%) y por último Casimiro Castillo con (3.1%).

Fisiográficamente, la bahía se ubica dentro de la provincia Sierra Madre del Sur (Bloque Jalisco) dentro de las sierras de Jalisco y Colima. La Bahía de Navidad en particular, se caracteriza por presentar 3 pequeñas y estrechas cuencas que encierran a ríos de poco volumen y longitud, que drenan inmediatamente hacia el sur (por carecer de lineamientos este-oeste) al Océano Pacífico. Las cuencas de estos tres ríos/arroyos, presentan una marcada estacionalidad de flujo y la mayoría permanecen secos en invierno y primavera. Las pocas escorrentías de los Arroyos, El Pedregal, El Organito-El Barro y El Almolón-Arroyo Seco, son de carácter torrencial y sus máximas avenidas se relacionan con las lluvias durante la temporada de huracanes del Pacífico Central Mexicano.

En paisaje fisiográfico de esta provincia, se combina la presencia también de grandes extensiones de planicies costeras formadas por material aluvial entre las que se encuentran: el valle de Cihuatlán (cuenca baja del Río Marabasco- aledaño a la Bahía), así como las cuencas estructuralmente menos complejas y de menor relieve como las de los arroyos El Pedregal-San Patricio (EP-SP), El Organito-El Barro El Tule (EO-T), A Seco-El



Almolón-Barra de Navidad (AS-BN), que convergen en abanicos fluviales antes de su confluencia en la población de San Patricio-Melaque, o las lagunas El Tule y Barra de Navidad dentro de la Bahía (Figura 1). En la bahía existen 7 tipos y 10 subtipos de suelos, donde predominan los regosoles, cambisoles y fluvisol (Tabla 1, Figura 2). Este último tipo se restringe a los depósitos en los cauces de los arroyos en la planicie costera más de 45% del territorio, mientras los tipos restantes se localizan en las partes altas de las cuencas, en zonas de pendiente elevada <10% que representan más del 55% de la superficie. La textura predominante de estos, se encuentran en las clases franco arenoso a franco limoso, predominando las fracciones arena gruesa y media, y limo-arena de fina a muy fina, lo que indica el origen fluvial del material de partida y la influencia de la actividad eólica, debido a su ubicación sobre pendientes fuertes en el paisaje (Tabla 2). Fuente propia, con datos de INEGI, 2007.

### VEGETACION Y USOS DEL SUELO

La distribución de la vegetación natural en la cuenca, sigue un gradiente general altitudinal, donde se observan los bosques: Bosque Mesófilo de Montaña; de Encino en las partes altas más frías, mientras que la selvas se desarrollan en las partes bajas más calientes, la altura de las selvas y las condición de pérdida de hojas (caducifolia o subcaducifolia), obedece más bien a patrones de distribución de los nutrientes y retención de humedad del suelo (selvas medianas sub-caducifolias en cañadas, mientras las selvas bajas caducifolias se desarrollan en zonas planas bien drenadas, con suelos pobres). La de mayor diversidad de tipos de vegetación y usos fue AS-BN, con nueve asociaciones y usos, seguida por EO-T con cinco y la menos diversa y con mayor deterioro EP-SP con cuatro. (Figura 3). Sin embargo este patrón ha sido alterado por la sustitución y el aprovechamiento de la vegetación natural a agrosistemas, donde aún prevalecen las prácticas de tumba-roza-quema y otros usos de suelo (31.97%), que lo mismo se desarrolla en terrenos de la planicie de inundación, el 45% de territorio y la actividad pastoril en cerriles o urbano-turística alrededor de los humedales lagunas El Tule y Barra de Navidad. Por las dimensiones en su extensión, esto es más intenso en las vertientes EP-SP y EO-T que AS-BN, aunque en esta última la mancha urbano turística invade la laguna (Tabla 3).

### HIDROGRAFIA, DETERIORO Y EROSION

Los parámetros calculados son diferenciales entre sí, similares en relieve, forma y circularidad entre AS-BN y EP-SP, y de esta última, con EO-T en área, longitud, perímetro, orografía y masividad. Por otro lado, difieren de los tiempos de concentración y sobresale EP-SP por su alta densidad de drenaje. Cada una de las tres cuencas analizadas es independiente, porque sus áreas de captación se encuentran bien delimitadas, de tal manera que, las conexiones se dan de manera subterránea o en la planicie común durante los temporales cuando aparecen las inundaciones. La precipitaciones medias anuales en las cuencas, con valores de 734.35 639.87 y 620.65 mm para Arroyo Seco, El Pedregal y El Organito respectivamente. En periodos normales, se estima un volumen promedio anual de 253, 53.61 y 51.24 de captación de agua en millones de metros cúbicos, que se precipita sobre AS-BN, EO-ET y EP SP, respectivamente. De acuerdo con la longitud y pendiente, AS-BN presentó un mayor relieve con baja pendiente promedio del cauce, que al ser comparativamente más bajo que las otras, amortigua su peligrosidad por el alto nivel de bifurcación y tener el mayor tiempo de concentración 70 horas, sin embargo, EP-SP con 1,020, 5.0 y 22 horas, es una combinación que la hace altamente peligrosa, mientras que EO-T con 840, 6.2 , se definió como de características moderadas, aunque aumenta su peligrosidad por tener el menor tiempo de concentración (14 horas) de las tres (Tabla 4).

Respecto de las acumuladas de precipitación, durante los periodos torrenciales analizados, se encontró que Arroyo El Pedregal (EP-SP) impacta de manera independiente la población de San Patricio-Melaque, Arroyo El Organito (EO-T) impacta directamente a Jaluco y los sitios aledaños a la laguna El Tule, Villa Obregón y San Patricio al llegar a los 200 mm de precipitación continua y acumulada durante los eventos de John Henriette y Jova (Figura 4), cuando fueron evidentes las inundaciones, como lo demuestran los registros pluviales tomados durante Juliette y Jova, este ultimo de categoría superior a los otros de mayor impacto (Tabla 5).

El huracán Jova, que el 11 de octubre de 2011 que impacto la costa de Jalisco y Colima, fue un meteoro de alto impacto ecológico por las inundaciones, erosión hídrica, movimientos en masa y la cantidad de sedimentos que generó en las cuencas hidrográficas de Jalisco y Colima, sin embargo, otros de menor magnitud e intensidad, como John en 2006 y Henriette en 2007 han impactado con inundaciones y perdidas económicas, y tenido los mismos efectos en las áreas agrícolas y urbano-turísticas asentadas en la planicie costera de la Bahía.

## DISCUSION

Los parámetros calculados son diferenciales entre sí, similares en relieve, forma y circularidad entre AS-BN y EP-SP, y de esta última, con EO-T en área, longitud, perímetro, orografía y masividad. Por otro lado, difieren de los tiempos de concentración y sobresale EP-SP por su alta densidad de drenaje (tabla 1). Al respecto de los suelos, se identificaron, siete tipos y 10 diferentes sub-tipos. La de mayor diversidad de tipos de vegetación y usos fue AS-BN, con nueve asociaciones y usos, seguida por EO-T con cinco y la menos diversa y con mayor deterioro EP-SP con cuatro.

Cada una de las 3 las subcuencas analizadas, es independiente porque sus áreas de captación se encuentran bien delimitadas, de tal manera que las conexiones, se dan de manera subterránea o en la planicie común durante los temporales cuando aparecen las inundaciones. AS-BN presentó un mayor relieve de baja pendiente promedio del canal, que al ser comparativamente más bajo que las otras amortigua su peligrosidad por el alto nivel de bifurcación, EP-SP con 1,020 y 5.0, es una combinación que la hace altamente peligrosa, y EO-T con 840 y 6.2, se definió como de características moderadas (tabla 2). El arroyo El Pedregal impacta de manera independiente la población de San Patricio-Melaque, al llegar a los 220 mm de precipitación en 24 o 72 horas, por otro lado, Arroyo El Organito impacta directamente a Jaluco y los sitios aledaños a la laguna El Tule con las mismas cantidades.

En México, la erosión hídrica es la que mas agobia a las tierras, debido a que el 65% del territorio nacional tiene pendientes mayores a 10% (Trucíos-Caciano, et al., 2011). Esta situación, aunada a una escasa cobertura vegetal al inicio de las lluvias por la fenología de la selva caducifolia, o producto de la deforestación y malas prácticas agropecuarias, incrementa el riesgo de erosión hídrica en más del 70% del territorio, llegando a ser extrema en un 9% del país, y en las cuencas analizadas los porcentajes de 45% para la planicie costera y 55% de superficie de alto relieve con pendientes superiores al 14%.

Para Cihuatlán, los abanicos fluviales son los más importantes por su extensión y desde el punto de vista económico, para la agricultura son: la sección Jalisco del río Marabasco (Valle de Cihuatlán) y la del Arroyo Seco, ya que una significativa extensión del municipio, se encuentra dentro de ellas y es dominada por agrosistemas, que sostienen la economía del 60-70% de la PEA municipal de Cihuatlán (INEGI, 2000) mientras que el otro 30-40 % lo representan las playas y lagunas, y todos ellos se localizan sobre la planicies de inundación por debajo de los 20 msnm.

En las cuencas de la Bahía de Navidad analizadas, los tipos de suelo más susceptibles a los procesos de erosión, además de localizarse en las partes altas, son delgados variando de 3 a 40 cm de profundidad, lo cual los hace no aptos para la actividad ganadera, puesto que para el pastoreo, se necesitan suelos de profundidad media, para que los pastizales logren desarrollarse de buena manera (Vásquez Yanes et al., 1997), sin embargo, la mayor parte

del área con estas características está destinada para la ganadería por parte de los ejidatarios (Holland et al., 2011). El alto grado de deforestación y la fragmentación resultado de las malas prácticas agropecuarias (tumba-roza-quema y pastoreo en pendientes pronunciadas) que presentan las tres cuencas (Collinge, 2009; Holland et al., 2011), provocan la compactación del suelo por pisoteo, y pobreza de arcilla y humus como agentes agregantes, disminuyendo la capacidad de retención de agua y la estabilidad estructural de los mismos (Mas et al., 2009) cuyos resultados son una alta susceptibilidad a procesos erosivos, aluviones y deslaves, y de transporte, colmatación de los cauces y asolvamiento de los cuerpos de agua (Méndez Linares et al., 2007; Trucíos-Caciano et al., 2011) durante los torrenciales, con periodos de retorno cada vez más breves como resultado del calentamiento global (Richter, 2000; Hernández, 2001; UNISYS, 2013; SMN, 2013). Las diferencias edáficas e hidrológicas de las subcuencas, suponen una erosión diferencial particular en cada una de ellas, que de acuerdo a las características medidas por los índices de compactación y densidad de drenaje y al ser mayor en la del Pedregal hace a la población de San Patricio-Melaque altamente vulnerable.

## CONCLUSIONES

Las tres sub-cuencas que integran la cuenca Bahía de Navidad pueden considerarse una sola unidad hidrográfica aunque con características específicas diferentes por sus conexiones a nivel planicie. La cuenca El Pedregal-San Patricio (EP-SP), es la que, por sus combinaciones morfológicas e hidrográficas, presenta un mayor grado de peligrosidad, EL Organito-El Tule (EO-T) presenta una menor peligrosidad pero su estabilidad ecológica es fundamental y otorga las condiciones ecológicas de la laguna de El Tule, mientras que la Arroyo Seco-Barra de Navidad (AS-BN) es la más extensa y compleja, es importante para las funciones ecológicas de toda la Bahía y en particular de la laguna de Barra de Navidad.

Dado el deterioro en las cuencas verificable mediante el cálculo de las tasas de erosión y asolvamiento en las lagunas, es preciso hacer acciones de conservación de suelo, y prácticas de reforestación sobre todo en las partes altas de las tres sub-cuencas que ayuden a aumentar el tiempo de concentración.

La sustitución de los ambientes naturales de selva baja por agrosistemas, durante los últimos años ha modificado y tenido un fuerte efecto los principales servicios ambientales, de todos los ecosistemas que son el paisaje y el microclima, además de azolvar y afectar fuertemente el funcionamiento ecológico de las lagunas El Tule y Barra de Navidad, donde desembocan estas pequeñas corrientes superficiales, que a su vez mantienen otros servicios ambientales, como son el nivel freático adecuado para el desarrollo de la actividad agropecuaria, en las tierras altas y las planicies de inundación y, por la pérdida de superficie y volumen la productividad acuática que sostiene la diversidad marina y costera del área.

Las transformaciones por la intensa presión de uso, derivado del “incipiente” desarrollo urbano y turístico mal planeado de la zona, ha producido serios impactos en los humedales como: deforestación del manglar, contaminación del agua y suelo, asolvamiento y rellenos en sus riveras y desecación, además del deterioro del hábitat estuarino que ha afectado la abundancia y presencia a un buen número de especies pesqueras de alto valor comercial, ya que se han modificado las estructuras física, química y biológica natural de las lagunas

## REFERENCIAS

- Campos, A. 1987. *Procesos del Ciclo Hidrológico*. 2ª edición., Universidad Autónoma de San Luís Potosí, México. 600 pp.
- Collinge, Sharon K. 2009 *Ecology of fragmented landscapes*; foreword by Richard T. T. Forman. The Johns Hopkins University Press 340 p.

- Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA Jalisco). 2008. Cuencas Hidrológicas del Estado de Jalisco. [en línea] [Fecha de consulta: 25 agosto 2008] Disponible en: <http://www.ceajalisco.gob.mx/cuencas/chacala-pur.html>
- Guilarte, R. 1978. *Hidrología Básica*. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 667 p.
- Hernández, C., Ma. E., E. Aspra, R., G. Carrasco, A., y O. Delgado D. 2001. Los ciclones tropicales en México. Temas selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. pp: 82-84
- Holland, T. L, Mariscal Romero, J., Davidson-Arnott, R. and Cardillo, J. 2011. Landscape changes in a coastal system undergoing tourism development: implications for Barra de Navidad Lagoon, Jalisco, Mexico. *Investigaciones Geográficas, UNAM* 74:7-18 pp
- Llamas, J. 1993. *Hidrología General: principios y aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 635 pp
- Mas, J. F., A. Velázquez, Couturier, S. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental*. 1:23-39.
- Méndez Linares, A. P., J. López Portillo, J. R. Hernández Santana, M. A. Ortiz Pérez and O. Oropeza Orozco. 2007. The mangroves communities in the Arroyo Seco Fan, Jalisco, Mexico, and their relation with the geomorphic and physical geographic. *Catena*, 70:127-142.
- Miranda, G., A. 1998. Cobertura de selva baja, selva mediana y deforestación en la región de Chamela-Cuixmala-Tenacatita en 1973. Extraído del proyecto B033 Deforestación y fragmentación del hábitat: consecuencias ecológicas sobre la fauna de mamíferos de la selva tropical estacional. Escala 1:250000. Instituto de Ecología (UNAM) CONABIO, México.
- Moberg, F., P. Ronnback, 2003. Ecosystem services of the tropical seascape; interactions, substitutions and restorations. *Ocean and Coastal Management*. 46:1 27-46.
- Richter, M 2000 Ecological crisis in Chiapas: A case study in Central America Mountain. *Research and Development* 20(4):332-339
- Trucíos-Caciano, R; Estrada-Ávalos, J; Cerano-Paredes, J; Rivera-González, M, 2011 INTERPRETACIÓN DEL CAMBIO EN VEGETACIÓN Y USO DE SUELO *Terra Latinoamericana*, vol. 29, (4), pp. 359-367
- Turner, M .G. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on processes. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 20:171-197.
- UNISYS WEATHER HURRICANE.. Hurricane / Tropical Data. Eastern Pacific Tropical Storm Tracking by Year. Historic Files of Pacific Hurricanes. <http://weather.unisys.com/hurricane/index.html> (Consulta realizada el 10 abril de 2013).
- Vázquez-Yanes, C., A. Orozco, M. Rojas, M. E. Sánchez, V. Cervantes. 1997. *La reproducción de las plantas: semillas y meristemos*. Fondo de Cultura Económica. 170 p.

## ANEXO.

### TABLAS Y FIGURAS

**Tabla 1.** Tipos de suelo por cuenca Bahía de Navidad, Jalisco, Mexico  
(Elaboración propia con datos de INEGI, 2007)

CUENCA	EL PEDREGAL- EL ORGANITO- ARROYO SECO- BAHIA DE			
	S PATRICIO	EL TULE	B DE NAVIDAD	NAVIDAD
Tipo de suelo	Area Km2 (%)	Area Km2	Area Km2	Area Km2
Acrisol Órtico	---	---	7.74 (2.22)	7.74
Luvisol Crómico	---	---	22.0 (6.30)	22.00
Cambisol Húmico	---	---	11.47 (3.28)	11.47
Cambisol Éutrico	---	---	8.61 (2.46)	8.61
Cambisol Crómico	30.7 (38.3)	9.74 (12.67)	59.79 (17.12)	100.23
Rendzina	14.5 (18.1)	---	---	14.50
Regosol Eutrico	20.3 (25.34)	41.29 (53.64)	169.19 (48.45)	230.78
Regosol Dístico	12.7 (15.85)	19.9 (25.89)	30.64 (8.77)	63.24
Feozem Háptico	---	6.01 (7.81)	13.79 (3.95)	19.80
Fluvisol Eutrico	1.9 (2.42)	---	25.96 (7.43)	27.89
Totales	80.14	76.94	349.19	506.27

**Tabla 2.** Pendientes del terreno en superficie  
(Elaboración propia con datos de INEGI, 2007)

CLASIFICACIÓN	PENDIENTE	SUPERFICIE	COBERTURA
	(%)	(Ha)	%
Nula o muy baja	0 - 7	22721.645	44.88
Baja	8 - 14	3169.073	6.26
Media	15 -21	4878.029	9.64
Alta	22 - 42	15756.483	31.12
Muy alta	43 - 65	4101.329	8.1

**Tabla 3.** Cambios de usos del suelo 1985-2000 Bahía de Navidad  
(Tomado de Holland et al 2011)

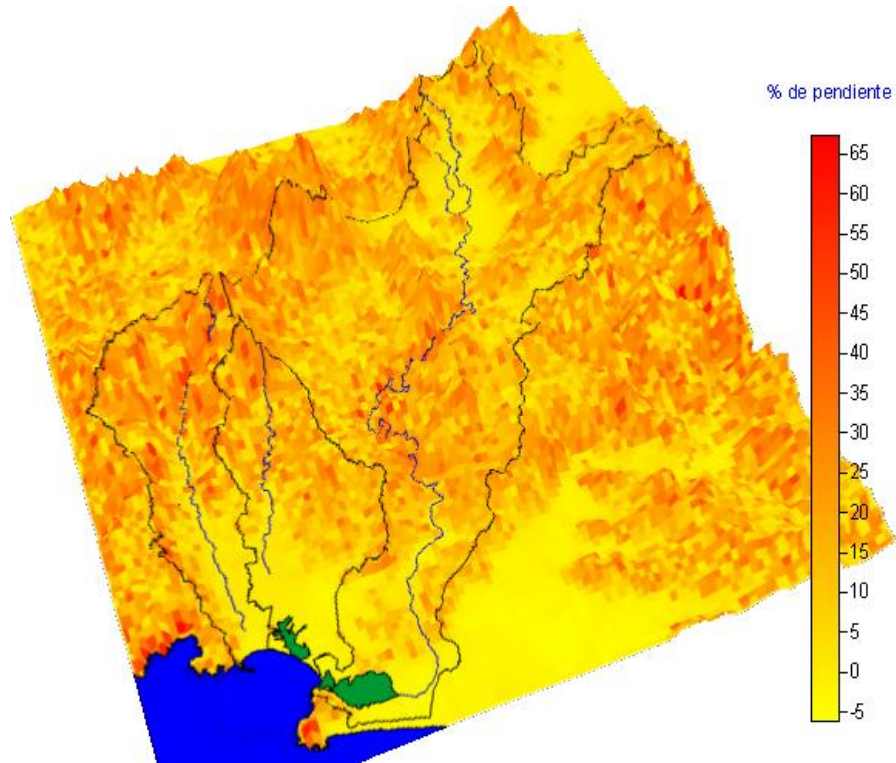
Usos del Suelo/ Clases	Area (km <sup>2</sup> )	Area (km <sup>2</sup> )	% Cobertura	% Cobertura
	1985	2000	Paisaje en 1985	Paisaje en 2000
Lagunar	3.41	3.14	1.7	1.54
Agricultura	27.27	33.31	13.33	16.28
Urbano y Turístico	17.9	25.57	8.75	12.5
Selva Seca				
Tropical Manglares/	96.2	111.7	47.04	54.61
Humedales	15.62	9.6	7.64	4.69
Océano	19.38	19	9.48	9.29
Suelos				
Desnudos	24.74	2.2	12.1	1.08

**Tabla 4.** Características hidrográficas de las cuencas de Bahía de Navidad, Jalisco.  
(Elaboración propia con datos de INEGI, 2007)

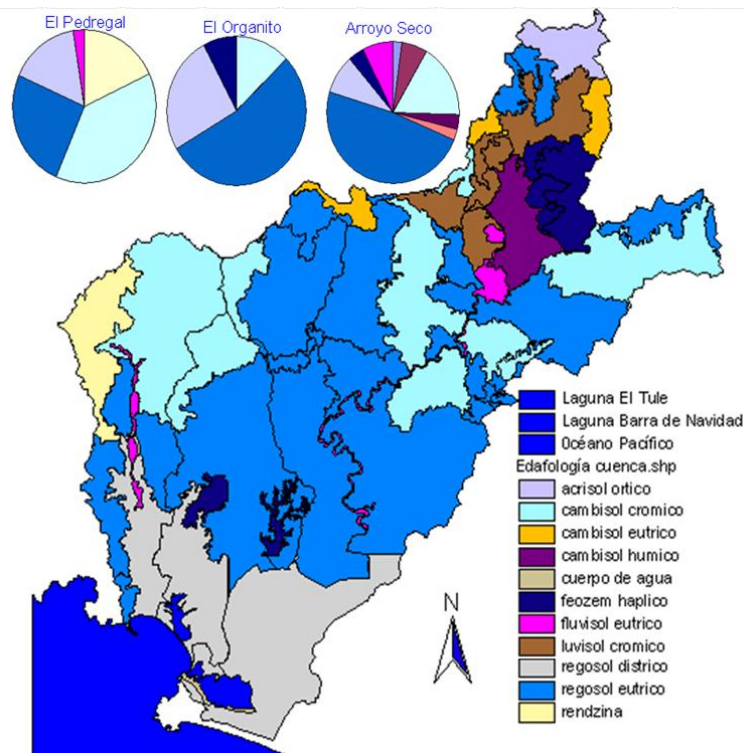
Cuencas	Arroyos/Lagunas		
	El Pedregal San Patricio (EP-SP)	El Organito El Tule (EO-T)	A Seco B de Navidad (AS-BN)
<b>Longitud de drenaje (Km):</b>	291.4	190.1	944.0
<b>Longitud de la cuenca (Km):</b>	18.5	17.2	39.1
<b>Perímetro Km2:</b>	61.2	52.7	734.0
<b>Área (Km2):</b>	80.1	77.0	349.2
<b>Relieve (msnm):</b>	0-1,020	0-840	0-1,200
<b>Densidad de Drenaje Kmr/Km2:</b>	3.6	2.5	2.7
<b>Coefficiente de compacidad (CC)</b>	1.9	1.7	2.1
<b>Relación de Elongación (Re)</b>	0.5	0.6	0.1
<b>Patrón de drenaje: tipo de cuenca</b>	<b>Dendrítico Exorréica</b>	<b>Dendrítico Exorréica</b>	<b>Dendrítico Exorréica</b>

**Tabla 5.** Últimos huracanes más severos en la Costa de Jalisco de fuerte impacto en la Bahía  
(Con datos de UNISYS y SMN)

	Fecha	Categoría	PP (mm)	Viento (Km/h)	Distancia/ referencia
<b>Juliette</b>	Sept 21-Oct 02 2001	IV	99	230 a 285	230 Km
	Oct 23-25				SSo Cabo Corr Jal 425 Km
<b>Kena</b>	2002	V	89	260 a 315	SO Cabo Corr Jal 150 Km
<b>John</b>	Ago 28-Sept 4 2006	III	212	205	O Mzlo Col
<b>Henriette</b>	Ago 30-Sept 6 2007	III-IV	303	110 a 148	240 Km O Cih Jal Manzanillo, Cihuatlan
<b>Jova</b>	Oct 11-12 2011	II-III	450	??	La Huerta



**Figura 1.** Modelo Digital De Elevación Bahía De Navidad Mapa De Pendientes De Terreno



**Figura 2:** Mapa Edafológico, Distribución Espacial De Los Tipos De Suelo De Bahía De Navidad. (Elaboración propia con datos de INEGI, 2007)

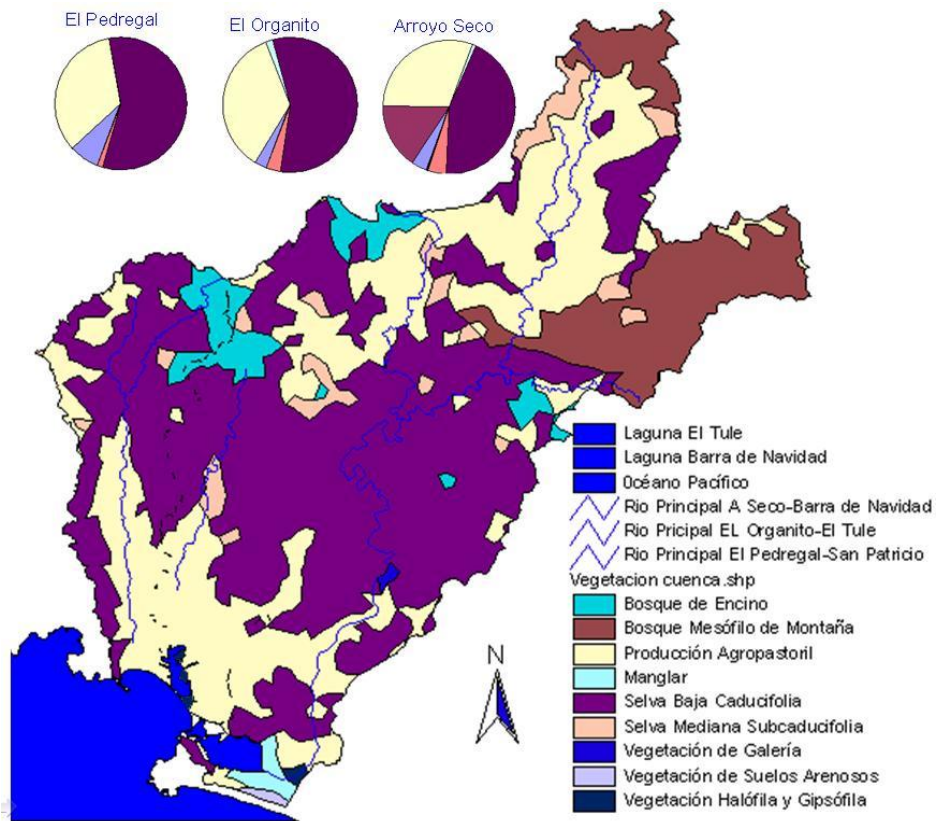


Figura 3: Mapa De Asociaciones Vegetales Y Usos De Suelo Bahía De Navidad. (Elaboración propia con datos de INEGI, 2007)

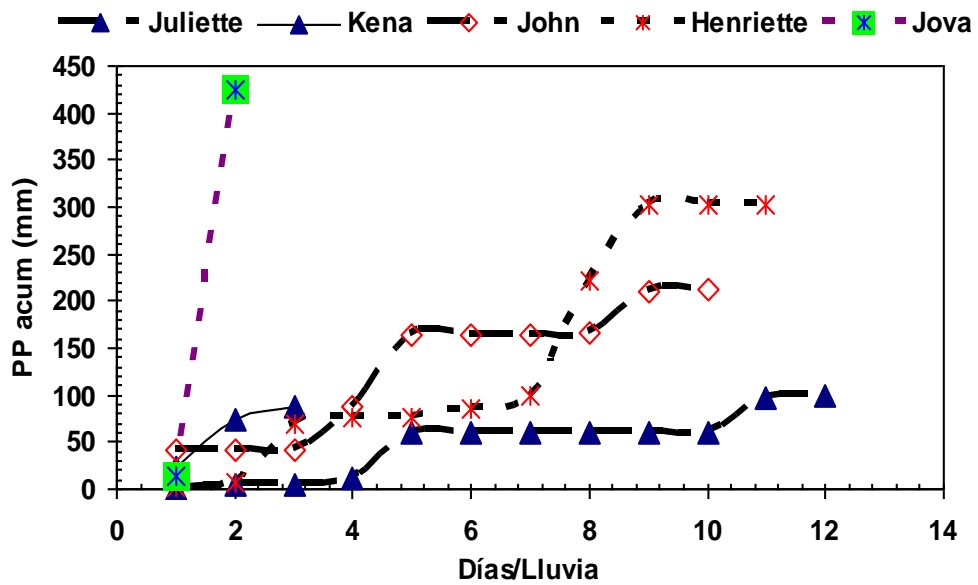


Figura 4. Relación entre la precipitación acumulada y el número de días/lluvia (Datos de ERIK III El Aguacate y CNA para la estación Cihuatlán).



# ESTIMACIÓN DE LA MODIFICACIÓN DE LA ESCORRENTÍA DEBIDO AL CAMBIO DE USO DE SUELO DE LA CUENCA ATOYAC DE OAXACA A TRAVÉS DE UN SIG.

VILLARREAL HERNÁNDEZ Diana. R.<sup>1</sup>, MARTÍNEZ VALDÉS Héctor<sup>1</sup> y BELMONTE JIMÉNEZ S. I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA, FI, UAEMéx.).

<sup>2</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR, Oaxaca). Instituto Politécnico Nacional

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estimar la variación que han sufrido los escurrimientos hídricos (lámina) en la cuenca del río Atoyac ubicado en los Valles Centrales del Estado de Oaxaca debido a los cambios de uso de suelo que se han dado durante un periodo de 15 años (1990-2005) a través del software SIG Idrisi Selva (Eastman,2009). La estimación se hizo a partir del empleo de imágenes satelitales de modelo numérico de altitud, de cobertura de suelo y de cartografía edafológica, además de bases de datos de precipitación, temperatura y parámetros fisicoquímicos del suelo.

La salida de la cuenca del río Atoyac se ubicó en las coordenadas geográficas: latitud 16°34'50" y longitud 96°52'3", el cual se importó a Idrisi y con el empleo de la imagen de modelo numérico de altitud se generó la cuenca. La estimación del cambio de uso de suelo se hizo por el método de clasificación supervisada empleando imágenes del satélite Landsat tomadas en 1990 y 2005. Las clases de coberturas clasificadas fueron: bosque, agricultura, agua, zona urbana y pastizal.

Los resultados muestran los siguientes cambios en sus áreas: el bosque paso del 40.96% en 1990 a 29.67% en 2005, la agrícola de 47.84% a 53.74%, los de agua de 0.06% a 0.12 %, la urbana de 7.37% a 14.22% y las de pastizal de 3.77% a 2.25%. Mientras que, la variación de las láminas de escurrimientos estimados pasaron de 12.1 mm (1990) a 15.1 mm (2005). Esto permite concluir que, las coberturas juegan un papel importante en la variación de la lámina de escurrimiento y provocan la disminución de la infiltración, afectando a la recarga del acuífero de la cuenca y generan el incremento del tirante de la escorrentía.

**Palabras clave:** Cuenca, SIG, Cobertura, escorrentía, lámina.

## INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del crecimiento acelerado de la población, cada vez se ejerce mayor presión sobre los recursos naturales, lo que ha traído como consecuencia, la transformación de los ecosistemas naturales, así como el deterioro del medio ambiente y por ende, la pérdida irreversible de muchas especies de flora y fauna (Fanhua *et al.*,2012; Ronald, 2013)

Actualmente, los cambios de cobertura de suelo es uno de los problemas principales que enfrenta el estado de Oaxaca, ya que las coberturas como el bosque, sirven para retener el agua de escurrimiento que se presentan durante las precipitaciones pluviales, para así, favorecer la recarga de los sistemas acuíferos de la zona.

El estudio de los cambios de cobertura de suelo de la cuenca Atoyac, que se ubica en los Valles Centrales del Estado de Oaxaca, México, es de trascendental importancia porque abastece de agua a la ciudad de Oaxaca y

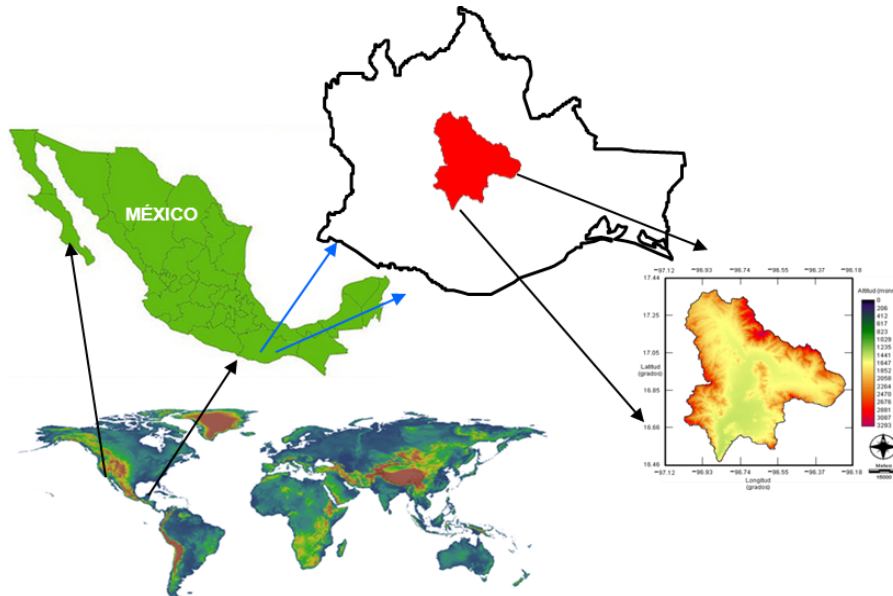
municipios conurbados. Debido al crecimiento urbano descontrolado y acelerado, han traído consigo por un lado, un alta demanda de agua y por el otro, la disminución de disponibilidad del recurso, lo que ha ocasionado por consecuencia, una sobreexplotación del sistema acuífero de la zona. Los cambios de uso de suelo que se han dado durante un período de 15 años (1990-2005), como producto de las diversas actividades humanas realizadas, tales como la tala indiscriminada de los bosques, los asentamientos humanos irregulares y el crecimiento de las zonas de cultivo; han permitido estimar la variación que han sufrido los escurrimientos de agua en dicha cuenca.

La estimación de los cambios presentados en los escurrimientos, se llevó a cabo empleando el módulo del ciclo del agua implementado en el software de SIG Idrisi. Para ello, se requirieron de imágenes satelitales de cobertura de suelo, de edafología, de los registros de las bases de datos climatológicas y de parámetros de las características físicas de los tipos de suelo de la zona de análisis de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.1 Ubicación

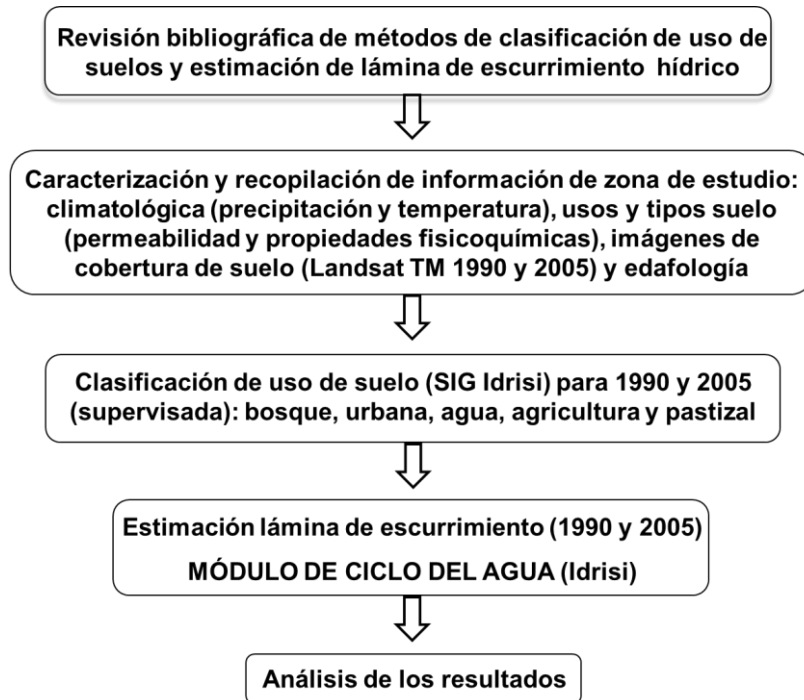
La cuenca Atoyac, se ubica en la región Valles Centrales de Oaxaca, tiene un área de 3,727 km<sup>2</sup>, la cual representa el 3.9% de la superficie total estatal: Se localiza al sureste de la República Mexicana en la porción centro del Estado de Oaxaca, en la región hidrológica número 20 Costa Chica - Río Verde, en la cuenca río Atoyac (Figura 1) entre las coordenadas: longitud mínima 16° 27' 45" W y máxima 17° 26' 33" W, y latitud mínima 97° 8' 54" N y máxima 96° 11' 1" N. Las coberturas de uso de suelo presentes en la zona son: bosque, agricultura, agua, zona urbana y pastizal. Los tipos de suelo que prevalecen son: regosol, acrisol, luvisol, cambisol, feozem, litosol y vertisol (INEGI, 2013).



**Figura1.** Ubicación geográfica de la cuenca del río Atoyac.

## METODOLOGÍA

La metodología general empleada en todo el trabajo de investigación se muestra en el siguiente diagrama metodológico de la figura 2.



**Figura 2.** Diagrama de la metodología general del trabajo de investigación.

### Clasificación de coberturas de uso de suelo

En la clasificación de uso de suelo, se empleó el método de clasificación supervisada con imágenes Landsat TM (Carmona y Nahuelhual 2012; Annemarie, 2012), los sitios de entrenamiento de las coberturas de suelo digitalizados fueron: agricultura, pastizal, agua, urbana y bosque. Después, se crearon sus firmas espectrales (módulo Makesig) y se hizo una caracterización estadística por medio de un cuadro de comparación de firmas (módulo Sigcomp). Posteriormente, se hizo la clasificación con el módulo de Maxlike (clasificación de máxima probabilidad) y a la imagen resultante, se le realizó un filtrado (moda 3x3) para eliminar el efecto sal y pimienta. El proceso de clasificación se hizo en un principio para obtener el uso de suelo de 1990 y se repitió para la de 2005, los procesos se realizaron en el SIG Idrisi.

### Delimitación de la cuenca

Para la delimitación de la cuenca se utilizó el submódulo del ciclo hidrológico (Figura 3) implementado en el software de SIG Idrisi (Franco, 2008) donde se requirieron como entrada las imágenes raster y vectorial, del modelo numérico de altitud (MNA) y del punto de salida de la cuenca.

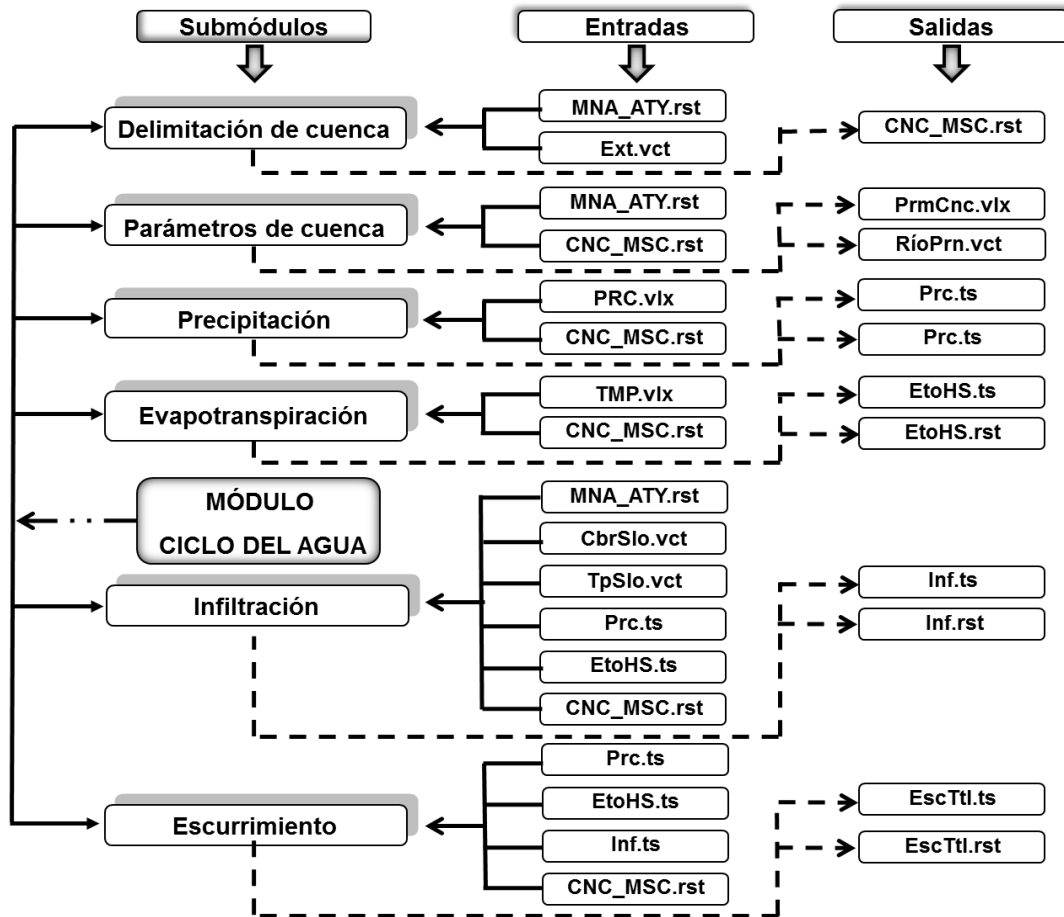


Figura 3. Procesos del módulo del Ciclo del Agua.

### Generación de la imagen superficial de precipitación

La información climatológica de precipitación y temperatura diaria, mensual y anual durante el período de 15 años de la zona de estudio (1990-2005), se adquirió de la base de datos de CLICOM (2010). Las bases de datos se analizaron y se adecuaron a las necesidades del estudio. Para ello, se consideran las estaciones climatológicas ubicadas dentro y fuera de la cuenca Atoyac. Después, otra vez empleando el submódulo de precipitación del ciclo hidrológico del agua, se extrajeron los datos de precipitación (mm) de cada estación climatológica (imagen vectorial) y se interpolaron empleando el método de Interpol para generar una imagen superficial de precipitación (mm) de la zona de estudio (imagen raster).

### Evapotranspiración

Una vez obtenida las bases de datos de la temperatura, se procedió a generar la imagen de distribución superficial de la evapotranspiración (mm) de la zona, para ello, se utilizó el submódulo evapotranspiración del ciclo hidrológico que cuenta con dos formas para poder generarse, uno de forma mensual y otro anual. Para estimar la evapotranspiración mensual se tienen los métodos de Hargreaves-Samani y Thornthwaite; y para el anual el de Turc. Para este caso de estudio, se empleó el método de Hargreaves-Samani (Campos, 2005), usando el método de interpolación Interpol e ingresando el archivo vectorial de datos mensuales de temperatura y el archivo matricial del límite de la cuenca.

## Infiltración

Para estimar la infiltración se empleó el submódulo de infiltración, que requirió las siguientes imágenes como parámetros de entrada para la estimación: MNA, cobertura de uso de suelo, tipo de suelos, precipitación, evapotranspiración y límite de cuenca. De donde, el archivo del MNA y la máscara de la zona de estudio, se generaron en el proceso de la delimitación de la cuenca, mientras que el grupo matricial (.ts) de precipitación y evapotranspiración, se generaron en los procesos anteriores. Cabe mencionar que, a partir de aquí los procesos se repitieron dos veces para generar la lámina de escurrimiento de 1990 y 2005, en el primer proceso se incluye la imagen de clasificación de cobertura de suelo estimado de 1990 y en la segunda la del 2005.

## Escurrecimiento

Finalmente, para la estimación de la lámina de escurrimiento mensual y anual por medio de un balance hídrico, se empleó submódulo de infiltración (Figura 3) que emplea los coeficientes de escurrimiento propuesto por Benítez *et al* (1980).

El procedimiento antes descrito, se empleó dos veces (1990 y 2005), cambiando únicamente el grupo matricial de entrada, según el año de estimación de la infiltración, con el fin de poder realizar posteriormente, el análisis del escurrimiento, debido a los cambios de uso de suelo durante el período de 15 años.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra las áreas del cambio de uso de suelo (km<sup>2</sup> y porcentaje) de la cuenca del río Atoyac en base a las imágenes clasificadas de 1990 y 2005, donde el área total de la cuenca es de 3,726.63 Km<sup>2</sup>.

**Tabla 1.** Resultados del análisis de los cambios de uso de suelo (1990-2005).

Cobertura	1990		2005		Pérdida (-)/Ganancia (+)	
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
Bosque	1,526.44	40.96	1,105.82	29.67	- 420.62	-11.29
Agricultura	1,782.80	47.84	2,002.86	53.74	220.06	5.90
Agua	2.13	0.06	4.33	0.12	2.20	0.06
Zona urbana	274.75	7.37	529.97	14.22	255.22	6.85
Pastizal	140.51	3.77	83.65	2.25	-56.86	-1.52

Las coberturas que sufrieron pérdidas durante el periodo de 15 años son: bosque con 11.29% y pastizal con un 1.52%. Mientras que, la agrícola aumentó 5.9%, la zona urbana 6.85% y la de agua 0.06%, ésta última su incremento se atribuye más a las precipitaciones registradas durante 2005 que a la apertura de más cuerpos de agua en la zona. Los resultados estimados del cambio de uso de suelo tienden a ser lógicos, debido a que esta tendencia son los que se observan de manera cotidiana en una comunidad en desarrollo o expansión.

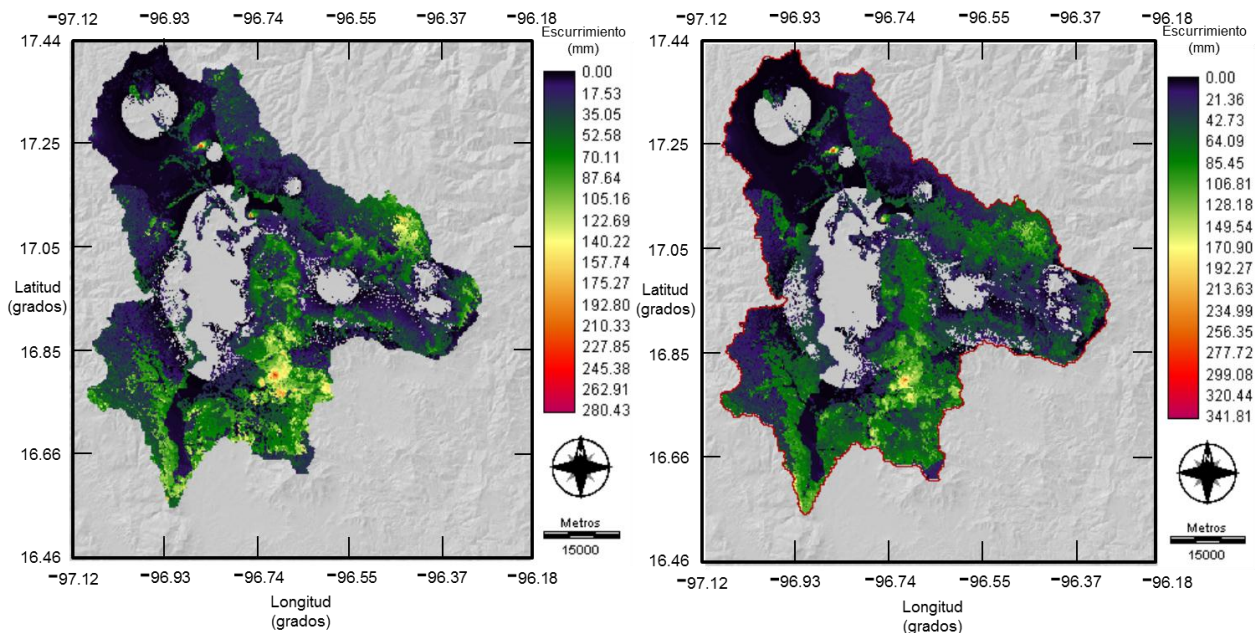
Los resultados del proceso de balance hídrico realizado con el módulo del ciclo hidrológico del agua en la cuenca del río Atoyac se muestran en la tabla 2, para el período de 15 años de estudio realizado (1990-2005).

**Tabla 2.** Resumen de resultados del balance hídrico de la cuenca del río Atoyac.

Variable		Meses												Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Precipitación (mm)	1990-2005	5.4	6.9	9.7	29.1	64.7	133.1	109.4	111.7	120.5	52.3	16.8	8.3	667.8
Evapotranspiración (mm)	1990-2005	32.6	33.5	51.1	57.2	65.9	61.1	62.5	61.3	54.7	50.6	37.1	33.6	601.2
Infiltración (mm)	1990	0	0	0	0	0	70.2	45	45.9	63.6	0	0	0	224.7
	2005	0	0	0	0	0	67.3	43.1	50.3	60.9	0	0	0	221.6
Escurrimiento (mm)	1990	0	0	0	0	0	1.8	1.9	4.5	2.3	1.7	0	0	12.1
	2005	0	0	0	0	0	4.7	3.8	0.1	4.9	1.7	0	0	15.1

En la tabla 2 se observa que, durante los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Octubre, Noviembre y Diciembre, la precipitación registrada contienen valores que van de 5.4 a 64.7 mm y la evapotranspiración estimada con valores que van de 32.6 a 65.9 mm, ahora, sí el análisis se hace por mes entre estos meses de estas dos variables, se observa que la evapotranspiración es mayor que la precipitación, lo que explica del porque no se da nada de infiltración y escurrimiento de agua en la cuenca. Sin embargo, durante los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre, las precipitaciones suelen ser mayores que la evapotranspiración, lo que ocasiona que ahora sí se den los procesos de infiltración y escurrimientos de agua en la cuenca.

Según el balance de los resultados estimados del escurrimiento hídrico durante el período de 15 años del estudio de la cuenca del río Atoyac (Figura 4), se observa que hubo un incremento en la lámina de agua total anual de 3 mm para 2005 con respecto al registrado en 1990, esto se debe a que, en 1990 se presentó una lámina de escurrimiento total anual de 12.1 mm, mientras que, en el 2005 fue de 15.1 mm. Éste incremento de la lámina de escurrimiento sin duda se debe al cambio de coberturas se han hidó presentandó en la zona de estudio.



a.- lámina de escurrimiento de 1990

b.- lámina de escurrimiento de 2005

**Figura 4.** Escurrimientos estimados en la cuenca del río Atoyac durante 1990 y 2005.

## CONCLUSIONES

El empleo del software SIG Idrisi para estimar los cambios de uso de suelo a través de imágenes de satélite y para evaluar los procesos del ciclo hidrológico a nivel de cuenca es recomendable, ya que suele ser un software muy compatible con el usuario, en la generación y transformación de datos requeridos por los procesos.

Las coberturas de suelo elegidas a clasificar para la zona de estudio fueron: bosque, agricultura, agua, zona urbana y pastizal, empleando del método de clasificación supervisada (máxima probabilidad) para así generarse dos imágenes de cobertura de suelo (1990 y 2005). El resultado del análisis de éstas permitieron estimar los siguientes cambios que se han presentado durante el período de estudio (15 años): el área del bosque pasó del 40.96% a 29.67%, la zona agrícola aumentó del 47.84% a 53.74%, las de cuerpos de agua se incrementaron de 0.06% a 0.12 %, la zona urbana pasó de un 7.37% a 14.22% y las de pastizal disminuyeron de 3.77% a 2.25%.

Como se observa, las coberturas que perdieron parte de su área son bosque y pastizal, y las que las ganaron fueron la agrícola y la zona urbana. Mientras que, en la de agua se aprecia un aumento para 2005, situación que sólo se atribuye al incremento del volumen de los cuerpos de agua debido a una mayor precipitación.

Debido a las alteraciones detectadas en el escurrimiento de la cuenca, se deduce que éstos han incidido directamente en la recarga del acuífero que prevalece en la cuenca, ya que el tirante total anual de la lámina de agua de escurrimiento para 1990 era de 12.1 mm y paso a 15.1 mm en el 2005, es decir, existe una diferencia de 3 mm, que se traducen en el incremento de la lámina de agua de la escorrentía para 2005. Sí está diferencia de 3 mm (0.003 m) se multiplica por el área de la cuenca que es de 3,726.63 km<sup>2</sup> (3,726,630,000 m<sup>2</sup>), resulta que se han dejado de infiltrar 11,179,890 m<sup>3</sup> de agua al acuífero de la cuenca. En general, esto se traduce que, cada vez se infiltrará menos agua al subsuelo debido a la alteración de los cambios de uso de suelo en una cuenca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Annemarie Schneider (2012). Monitoring land cover change in urban and peri-urban areas using dense time stacks of Landsat satellite data and a data mining approach. *Remote Sensing of Environment*, Volume 124, September 2012, Pages 689-704.
- A. Carmona, L. Nahuelhual (2012). Combining land transitions and trajectories in assessing forest cover change Original. *Applied Geography*, Volume 32, Issue 2, March 2012, Pages 904-915
- Benítez, C., Arias, W., y Quiroz, J. (1980). Manual de Conservación de suelos y agua. Ministerio de conservación de suelos y aguas. Lima, Perú.
- Campos Aranda, D. F. (2005). Estimación empírica de la ETP de la República Mexicana. *Revista Ingeniería Hidraulica en México*. XX (3): 99-110.
- CLICOM. (2010). Climating Computing Program, Base de Datos Meteorológicos México: Servicio Meteorológico Nacional.
- Eastman J.R. (2009). IDRISI Taiga. Guide to GIS and Image Processing. Manual Version 16.00. Clark Labs, Clark University. Archivo .pdf, 328p.
- Franco, P.R. (2008). Concepción e implementación de un módulo hidrogeomático para la disponibilidad de recursos hídricos. Tesis doctorado. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería de la UAEMex. México.
- Fanhua Kong, Haiwei Yin, Nobukazu Nakagoshi, Philip James (2012). Simulating urban growth processes incorporating a potential model with spatial metrics. *Ecological Indicators*, Volume 20, September 2012, Pages 82-91.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013). Síntesis de información geográfica del Estado de Oaxaca, consultado el 9 de marzo de 2013.
- Ronald C. Estoque, Yuji Murayama (2013). Landscape pattern and ecosystem service value changes: Implications for environmental sustainability planning for the rapidly urbanizing summer capital of the Philippines. *Landscape and Urban Planning*, Volume 116, August 2013, Pages 60-72



# EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA EROSIÓN EN PARCELAS DELIMITADAS DE LA MICROCUENCA DE SAN ANDRÉS AZUMITLA, PUEBLA.

Leticia Citlaly LÓPEZ TELOXA<sup>1</sup>, Rosalía CASTELÁN VEGA<sup>2</sup> y J. Víctor TAMARÍZ FLORES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias Ambientales. Instituto de Ciencias-BUAP. citlaly\_lo@hotmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas-BUAP. rosalia.castelan@correo.buap.mx;  
jose.tamariz@correo.buap.mx

14 sur 6301, San Manuel, Puebla, Pue. Tel. (2222) 295500 ext. 7353. Fax: 7351, C. P. 75470

## RESUMEN

El suelo constituye uno de los recursos naturales que sostiene a los ecosistemas. Su degradación se debe a los procesos inducidos por la sociedad que disminuyen su capacidad actual y futura para sostener la vida humana. El objetivo de este trabajo fue evaluar si las actividades agrícolas actuales favorecen procesos de degradación del suelo en una microcuenca de San Andrés Azumiatla, Puebla. Para llevar a cabo la evaluación cuantitativa de la erosión se instalaron 3 parcelas de escurrimiento con dimensiones de 3 m de ancho por 9 m de largo durante la temporada de lluvia, para su selección se consideró la inclinación de la pendiente y el tipo de cultivo presente: Maíz (Mz), Maíz-Calabaza (Mz-C) y Maíz-Avena (Mz-A). Se recolectaron los sedimentos de cada parcela, a los cuales se les evaluó la concentración de materia orgánica, fósforo, conductividad eléctrica y pH según la NOM-021-SEMARNAT-2000. Se estimó una pérdida de 4.96 T/Ha de suelo en la parcela con Maíz (Mz) con una pendiente de 10%, comparada con la parcela de Maíz-Calabaza (Mz-C) que perdió 3.08 T/Ha de suelo con una pendiente de 9%, hubo una pérdida menor de suelo debido al tipo de cultivo presente. EL grado de pendiente, la dirección de los surcos y el tipo de cultivo, intervienen en gran medida en la erosión del suelo.

**Palabras Clave:** Suelo, Erosión, Uso de Suelo, Escorrentía, Nutrientes

## INTRODUCCIÓN

La pérdida de fertilidad del suelo debido a la erosión hídrica es el problema ambiental más grande que enfrentan los agricultores en el mundo (Leal *et al.*, 2007). En Centroamérica esta situación representa un gran desafío, ya que debido a la pérdida de fertilidad de los suelos producto de la erosión, el incrementar los niveles de producción se ha vuelto un grave problema para el sector agrícola y para el medio ambiente (Sainet *et al.*, 1994). Los estudios de los procesos de escorrentía muestran que las precipitaciones constituyen el factor más agresivo en el proceso de erosión de los suelos. El fenómeno de erosión hídrica comienza desde que las gotas de lluvias impactan al suelo, hasta cuando la velocidad de infiltración es menor que la tasa de precipitación y el agua comienza a escurrir. Para la estimación de la erosividad que resulta de las precipitaciones se utilizan diversos métodos matemáticos, los cuales incluyen los promedios mensuales y anuales de la precipitación, por ejemplo: el Índice Modificado de Fournier y el factor R de erosividad de las precipitaciones propuesto en el modelo de la RUSLE que encierra valores de energía cinética e intensidad de las gotas (Almoza *et al.*, 2008). Para el caso específico de este trabajo se instalaron 3 parcelas experimentales delimitadas, que de acuerdo a Morgan (1997)

permiten el estudio dinámico de los procesos erosivos. Son esencialmente instrumentos de campo que permiten medir la producción de escorrentía y sedimentos en una superficie de terreno delimitada, en la que conocemos sus características edáficas, topográficas, recubrimiento del suelo, estado de la vegetación, sistemas de manejo aplicados y usos del suelo.

### UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Zona de estudio se localiza al lado sur de la Presa Miguel Ávila Camacho, específicamente a 13 km de la Ciudad de Heroica Puebla de Zaragoza; enmarcada dentro de las coordenadas 18°48' y 18°56' de latitud y 98°11' y 98°17' de longitud. Abarca un área total de 5158.47 ha. Tiene sus límites establecidos por el parte aguas que va rodeando a la localidad de San Andrés Azumiatla, Puebla, (Figura 1).

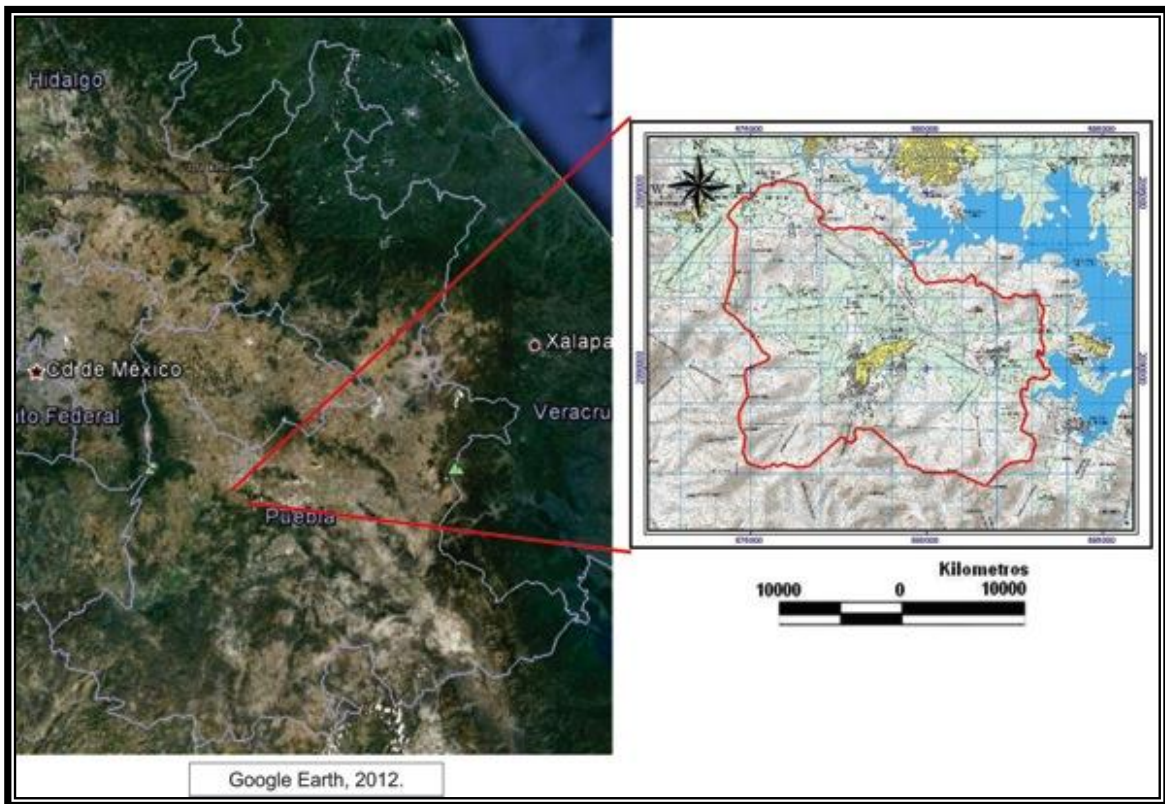


Figura 1. Ubicación zona de estudio.

### MATERIALES Y METODOS

Para determinar la evaluación cuantitativa de la erosión se instalaron 3 parcelas delimitadas, con dimensiones de 3 m de ancho por 9 m de largo. Para la selección de las parcelas se considero la inclinación de la pendiente y el tipo de cultivo presente, así como también el lugar mas adecuado para evitar robos del material. La parte baja de la pendiente está delimitada por un canal de colección de sedimentos y escorrentía del área de la parcela. El

canal a lo interno tiene pendiente de sus extremos hacia el centro del canal para promover el desplazamiento de la escorrentía y sedimentos hacia una salida colocada en el centro del canal pendiente abajo que conecta con el sistema de almacenamiento de sedimentos y escorrentía. El sistema de almacenamiento consistirá de un recipiente de plástico con una capacidad de 65 L. Se recolectaron las primeras lluvias, con frecuencia de visita de cada 3 días a la parcela y se midió el volumen total de escorrentía almacenada. Se agitó homogéneamente los sedimentos y el agua almacenada, para luego tomar una muestra por duplicado de 0.75 L cada una. Las muestras se etiquetaron de acuerdo al uso de suelo de la parcela, la fecha de toma de muestra y el volumen total de escorrentía. En la zona de estudio se obtuvieron los siguientes datos de precipitación durante los meses de Julio-Septiembre, estos datos se obtuvieron con un pluviómetro casero:

**Cuadro 1.** Precipitación en el área de las parcelas.

Mes	Precipitación	
	mm	Días de lluvia
<b>Julio</b>	115.4	17
<b>Agosto</b>	99.3	15
<b>Septiembre</b>	96.6	12

A continuación se presentan las parcelas estudiadas, así como el uso de suelo:



**Mz**

Esta parcela tiene 10% de pendiente. Tiene maíz sembrado en surcos, los cuales no fueron

**Mz-Cz**

Esta parcela tiene 9% dependiente. Con siembra de

**Mz-Av**

Esta parcela tiene 4% de pendiente, con siembra de maíz y avena, pero no se desarrollan de una forma

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 2 se observan las pérdidas en Ton/ha y mm de suelo que se obtuvieron durante el ciclo de lluvia, en la parcela donde el uso de suelo es Maíz (Mz) y una pendiente de 10% se perdieron 4.96 t/ha de suelo, desde otro punto de vista se perdieron 0.41 mm de suelo, en comparación con la parcela con uso de suelo Maíz-Calabaza (Mz-Cz) y con una pendiente de 9%, se perdieron 3.08 t/ha de suelo o 0.25 mm de suelo, la pendiente en este lugar es muy similar a Mz, sin embargo, hubo una pérdida menor de suelo, esto debido al tipo de uso de suelo presente en cada parcela. En la parcela con Maíz-avena (Mz-Av) con pendiente del 4%, se perdieron 2.67 t/ha de suelo. Se puede observar que las pérdidas de la parcela (Mz-Cz) y (Mz-Av) son muy similares, a pesar de que la primera presenta un porcentaje de pendiente mas alto. De esto se puede concluir que el grado de pendiente, la dirección de los surcos y el tipo de uso de suelo, intervienen en gran medida en la erosión del suelo.

**Cuadro 2.** Pérdidas de Suelo en el ciclo de lluvia.

Clave Parcela	Uso de suelo	% pendiente	Pérdida de suelo Ton/ha por ciclo	mm de suelo
Mz	Maíz	10	4.96	0.41
Mz-Cz	Maíz-calabaza	9	3.08	0.25
Mz-Av	Maíz-avena	4	2.67	0.22

### Resultados de análisis de sedimentos de las parcelas

Los datos obtenidos son comparados y analizados de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, con apoyo de otras referencias como la Clasificación de los suelos en base a textura según la USDA.

Las características físicas de los sedimentos de cada parcela durante los dos primeros meses se observan en el cuadro 3; para los resultados del mes de septiembre no se realizaron estos mismos análisis ya que las precipitaciones fueron menores, no consiguiéndose así el sedimento suficiente para la realización de estos parámetros, sin embargo a pesar que las precipitaciones del mes de septiembre y agosto son muy parecidas y las proporciones de pérdida de suelo son muy diferentes esto se debe a que de acuerdo a la intensidad y la cantidad de lluvia, tipo de suelo y grado de protección de la superficie (desnudo, rastrojos, cultivo verde) se producirá erosión hídrica de distinta gravedad (Michelena, 2013). Es decir, lo que sucedió en el mes de agosto es que la intensidad de lluvia fue mayor que en el mes de septiembre. Aunque las precipitaciones sean similares, la cantidad de lluvia en el mes de agosto cayó en menor tiempo que en el mes de septiembre. Comparando con la clasificación de la USDA, en el caso de la parcela de Mz, el sedimento del mes de julio tuvo una clase textural franco arcilloso, es decir, de textura moderadamente fina, donde se perdieron de manera equitativa arcillas y limos, y en menor cantidad, arenas, esto comparado con el mes de agosto donde la clase textural de los sedimentos fue arcilloso, es decir de textura fina, donde se perdieron en mayor proporción las arcillas; para la parcela Mz-Av, la clase textural en ambos meses fue arcilloso, es decir, de textura fina, lo que significa que se perdieron en mayor proporción las arcillas. Mientras que en la parcela Mz-Cz la clase textural paso de tener una textura fina a una textura moderadamente fina.

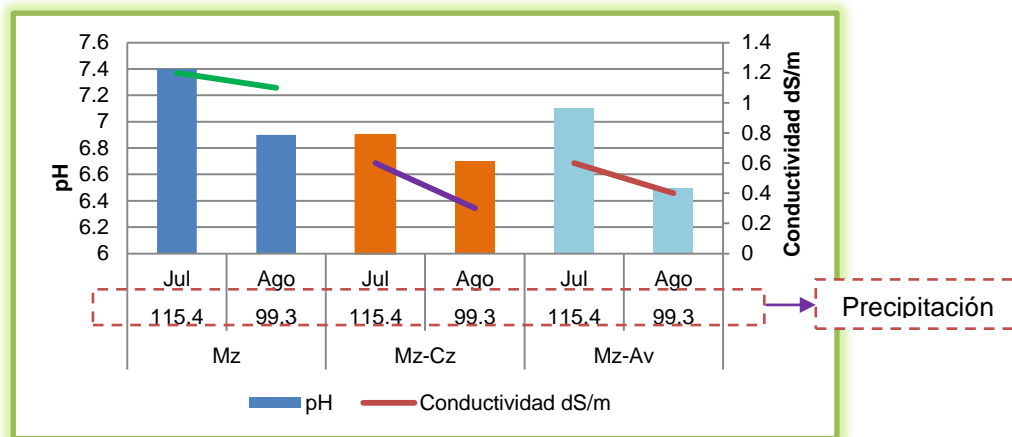
**Cuadro 3.** Características Físicas de los sedimentos.

Mes	Sedimentos Parcela	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Textura			
			% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase Textural
Jul	Mz	0.9	23.7	38.1	38.2	Franco-arcilloso
	Mz-Cz	1.1	17.7	42.1	40.2	Arcilloso
	Mz-Av	1.2	17.7	44.1	38.2	Arcilloso
Ago	Mz	1.1	18.2	43.8	38	Arcilloso
	Mz-Cz	1.1	58.2	25.8	16	Franco-areno-arcilloso
	Mz-Av	1.2	14.2	59.8	26	Arcilloso
Sep	Mz	-	-	-	-	-
	Mz-Cz	-	-	-	-	-
	Mz-Av	-	-	-	-	-

Las características químicas de los sedimentos se muestran en el cuadro 4. Según la NOM-021-SEMARNAT-2000, para los sedimentos de la parcela Mz, el pH fluctúa de 7.4-6.9, es decir, varía de medianamente alcalinos a neutros, para julio y agosto, respectivamente. Mientras tanto en la parcela Mz-Cz el pH varía de 6.9 - 6.7, esto significa que es neutro en ambos meses. Por último en la parcela Mz-Av, el pH comienza con 7.1 - 6.5, demostrando que es neutro para ambos meses. Los datos obtenidos de conductividad reflejan que los sedimentos de la parcela Mz en ambos meses es de 1.2 dS/m, demostrando un efecto ligeramente salino. Por otra parte, para los sedimentos de las parcelas Mz-Cz y Mz-Av la conductividad se encuentra en el primer mes es de 0.6 a 0.3 para el caso de la primera de estas, y para la segunda va de 0.6 a 0.4, es decir, para ambos casos tiene efectos despreciables de salinidad. Como se puede observar (Gráfica 1) conforme disminuyen las precipitaciones los valores de pH y conductividad disminuyen, esto significa que cada mes se pierden menos nutrientes con la escorrentía, es decir, menores porcentajes de bases intercambiables (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) del suelo se están perdiendo a causa de las precipitaciones.

**Cuadro 4.** Características Químicas de los sedimentos.

Mes	Sedimentos Parcela	pH	Conductividad dS/m	Fósforo Disponible Bray y Kurtz 1; ppm	g/Kg N total	g/Kg CO
		H <sub>2</sub> O				
Jul	Mz	7.4	1.2	98.3	3.4	33.7
	Mz-Cz	6.9	0.6	20.8	2.0	7.8
	Mz-Av	7.1	0.6	26.4	2.4	8.7
Ago	Mz	6.9	1.1	17.4	2.7	34.3
	Mz-Cz	6.7	0.3	6.2	0.3	10.9
	Mz-Av	6.5	0.4	2.5	1.0	12.5
Sep	Mz	-	-	30.1	3.7	51.8
	Mz-Cz	-	-	12.2	2.4	19.4
	Mz-Av	-	-	1.6	2.7	14.9



**Gráfica 1.** Comparación de sedimentos pH-Conductividad-Precipitación por mes y parcela.

Los sedimentos de la parcela Mz contienen 33.6, 34.3 y 51.8 g/Kg CO para Jul, Ago y Sep, respectivamente, el dueño de esta parcela constantemente agrega estiércol de su ganado sobre ésta, en gran medida para evitar el uso de fertilizantes. En los sedimentos de la parcela Mz-Cz se reportaron valores 7.8, 10.9 y 19.4 g/Kg CO, para julio, agosto y septiembre, respectivamente. En el caso de sedimentos de Mz-Av las pérdidas son 8.7, 12.5 y 14.9 g/Kg CO para julio, agosto y septiembre, respectivamente. Como se puede observar las pérdidas del % CO se ven incrementadas cada mes a medida que la precipitación disminuye, de acuerdo a diversos autores (Rodríguez et al., 2004; Haregeweyn et al., 2008; Rhoton et al., 2006) han encontrado una buena correlación entre el tamaño

de partículas y el % CO, siendo las de menor tamaño (arcilla y limo) las que presentan los valores más elevados de % CO. Es decir, la erosión hídrica laminar (como la que ocurre en las parcelas) aun en eventos con escorrentías débiles donde se erosionan principalmente los elementos más finos del suelo, moviliza sobre todo partículas de pequeño tamaño y superficiales, por lo tanto la movilización de CO es mayor (Roose et al., 2006). Otra razón para este aumento podría deberse a que el rastrojo del cultivo fue arrastrado por la escorrentía, donde se consideró para la evaluación.

**Cuadro 5.** Interpretación de la concentración de Fósforo en el Suelo

Interpretación	ppm de fósforo en el suelo
Muy Bajo	< 3
Bajo	3 a 7
Medio	7 a 20
Alto	> 20

Fuente: Clark, C. A. *et al.* (1995). *Methods of Soil Analysis*.

Las pérdidas de fósforo en sedimentos para Mz y Mz-Cz tuvieron una fuerte dinámica sin embargo para el caso de Ma-Av las pérdidas de fósforo se redujeron conforme las precipitaciones disminuyeron. Según Clark, C. A. *et al.* (1995) (cuadro 5) las concentraciones de fósforo para el caso de los sedimentos de la parcela Mz para los 3 meses es alta, 98.34, 17.4 y 30.1 ppm, para jul, ago y sep, respectivamente; lo que significa que hay grandes pérdidas de fósforo disponible para las plantas, estas concentraciones son altas debido a la aportación de estiércol al suelo. Mientras tanto en los sedimentos en la parcela Mz-Cz en el mes de julio la concentración fue de 20.8 ppm o sea, alta, pero tuvo un decremento en el mes de agosto llegando a 6.2, o un nivel bajo, sin embargo para septiembre la concentración aumentó alcanzando 12.2, obteniendo un nivel medio. La concentración en sedimentos de la parcela Mz-Av, durante los 3 meses tuvieron una continua disminución, en jul su concentración fue alta con 26.4 ppm, para agosto la concentración fue baja con 6.2 ppm y por último para el mes de sep la concentración fue muy baja con un valor de 1.6 ppm.

La erosión provoca grandes problemas en la calidad del agua de ríos o lagos. Aunque la agricultura contribuye en muchas formas a deteriorar la calidad del agua, la sedimentación y erosión antropogénica es un problema mundial que suele estar especialmente asociado a la agricultura. Si bien no hay cifras mundiales, es probable que la agricultura, en sentido amplio, sea la causante de gran parte del aporte mundial de sedimentos a los ríos, lagos, estuarios y, finalmente, a los océanos mundiales. La erosión representa también un costo neto para la agricultura en cuanto que significa una pérdida de tierra productiva, así como de nutrientes y materia orgánica que deben sustituirse con fertilizantes, lo que obliga al agricultor a efectuar considerables desembolsos si desea mantener la productividad del suelo. La lucha contra la contaminación agrícola comienza normalmente con medidas encaminadas a combatir la erosión y la escorrentía de sedimentos (FAO, 1997).

## Resultados de análisis de muestras de suelo de las parcelas

Para observar a detalle el cambio ocurrido en cuanto a características físicas y químicas se reunieron muestras del primer y tercer mes, julio y septiembre, se colectaron muestras de suelo de las parcelas Mz, Mz-Cz y Mz-Av del horizonte superficial, de las cuales los resultados y comparaciones de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 se encuentran a continuación. Las características físicas de los suelos de las parcelas se observan en el cuadro 6. No se obtuvo cambios en cuanto a las texturas de las parcelas Mz y Mz-Cz, en la primera la clase textural es franco-arcilloso y en la segunda es franco-areno-arcilloso, es decir que ambas son de textura moderadamente fina. Mientras que en la parcela Mz-Av la clase textural es arcilloso para ambos meses, es decir, es de textura fina. Estos suelos son normalmente los de mas alta fertilidad natural. Sin embargo debe manejarse con precaución, pues se compacta fácilmente cuando se labra o cultiva en condiciones húmedas. Cuando estos suelos tienen buenos contenidos de materia orgánica son extraordinariamente productivos y muy fértiles si se manejan y labran apropiadamente (Castellanos *et al.*, 2000).

**Cuadro 6.** Características Físicas de los suelos de las parcelas.

Mes	Suelo Parcela	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Textura			
			% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase Textural
Jul	Mz	1.2	41.7	32.1	26.2	Franco-arcilloso
	Mz-Cz	1.2	57.7	22.1	20.2	Franco-areno-arcilloso
	Mz-Av	1.2	27.7	48.1	24.2	Arcilloso
Sep	Mz	1.1	38.2	37.8	24	Franco-arcilloso
	Mz-Cz	1.2	54.2	23.8	22	Franco-areno-arcilloso
	Mz-Av	1.2	30.9	47.1	22	Arcilloso

Según la NOM-021-SEMARNAT-2000, para los parámetros químicos en suelo (cuadro 7) se concluye lo siguiente: Aunque para los tres casos el pH de acuerdo a Castellanos *et al.* (2000) son considerados como ideal, donde los nutrientes se encuentran disponibles para las plantas. Los datos obtenidos presentan disminuciones en el pH, para los tres casos, cuando las precipitaciones son menores. El suelo de la parcela Mz indica un intervalo en el pH de 7.7-7.6, en julio y septiembre, respectivamente, esto significa que es un suelo medianamente alcalino. Para la parcela Mz-Cz, el pH varía entre 7.1-6.7, lo que indica que es un suelo neutro. Mientras que la parcela Mz-Av el pH varía considerablemente, de un mes a otro para de ser 7.4 a 6.4, es decir, de ser moderadamente alcalino pasa a moderadamente ácido. La variación del pH modifica el grado de solubilidad de los nutrientes en el suelo, es decir, en un suelo ácido hay mas disponibilidad de nutrientes que en un suelo alcalino. El suelo de la parcela Mz indica un intervalo en la conductividad de 1 - 0.7 dS/m, en julio y septiembre, respectivamente. Para las parcelas Mz-Cz y Mz-Av, la conductividad varía entre 0.3 – 0.1 dS/m. Para los tres

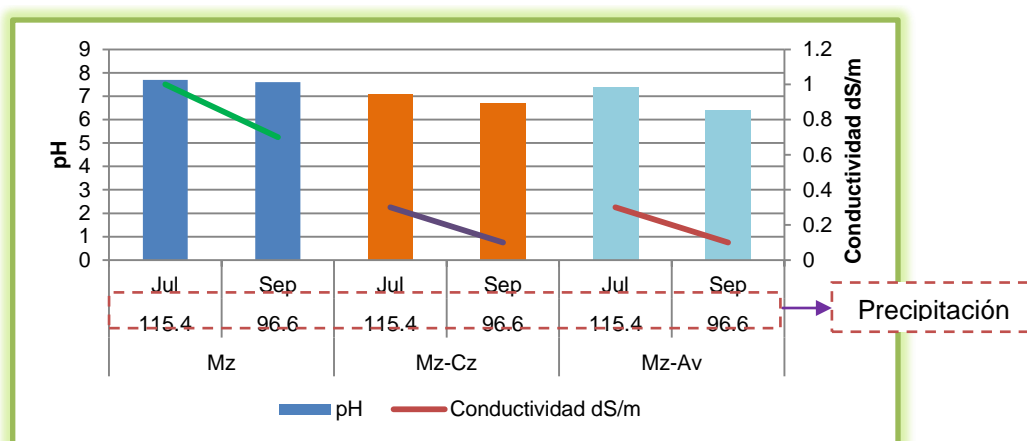


casos son de efectos despreciables de salinidad, esto significa que los suelos tienen bajas proporciones de sales, es decir, no existe restricción para ningún cultivo. Como se puede observar (Gráfica 2) conforme disminuyen las precipitaciones los valores de pH y conductividad disminuyen, esto como ya se había mencionado anteriormente, se debe a que las sales han sido lavadas del suelo por las precipitaciones. La materia orgánica nativa del suelo y altamente humificada presenta en general bajos niveles de mineralización, los cuales se ven afectados por el manejo de la labranza, temperatura, humedad, aireación y contenido de arcillas. Para el caso particular de las parcelas, el porcentaje de materia orgánica de acuerdo a la NOM-021 es muy bajo. Sin embargo, según Castellanos J. Z. *et al.* (2000), con relación a la textura, los suelos de textura gruesa tienden a presentar menores contenidos de materia orgánica que los de textura fina. Esto se debe a que las arcillas protegen la materia orgánica. De acuerdo a la textura que presenta el suelo de las parcelas, en Mz el porcentaje de materia orgánica es moderadamente alto en el mes de julio 2.6 %, pero para septiembre es medio, 1.9 %. En Mz-Cz para el mes de julio se presenta un porcentaje muy bajo, 0.3 %, y se incrementa en el siguiente mes pero continúa como bajo, 1.1%. Para la parcela Mz-Av durante el primer mes es de un porcentaje bajo, 1% y para septiembre es moderadamente bajo, 1.6 %.

La tasa de crecimiento de las plantas, generalmente, es proporcional a la tasa a la cual se provee el nitrógeno. Los abonos orgánicos presentan una serie de mineralización de nitrógeno que varía con su concentración en el abono y su grado de estabilidad, grado de composteo o edad del material. (Castellanos *et al.* 2000). Sin embargo, el nitrógeno total presente en las parcelas ha disminuido para el segundo mes. En la parcela Mz el porcentaje de nitrógeno total es de clase media en ambos meses con un porcentaje inicial para el mes de julio de 0.4 y 0.3 para el mes de Septiembre; por otra parte el suelo de la parcela Mz-Cz presentan bajos porcentajes de nitrógeno total, de 0.2 a 0.1, para julio y septiembre, respectivamente. Para la parcela Mz-Av aunque presenta un porcentaje bajo, la concentración de nitrógeno total se mantuvo. Los datos obtenidos de capacidad de intercambio catiónico (CIC) para la parcela Mz durante el primer mes se reportó de 17.5 Cmol(+)/Kg, de acuerdo a la NOM-021 es de clase media, sin embargo para el mes de septiembre pasó a ser clase baja con un valor de 5.5 Cmol(+)/Kg. Para la parcela Mz-Cz la CIC obtenida presenta un intervalo de 11.1 a 5 Cmol(+)/Kg, para julio a septiembre, respectivamente, lo que significa que es de clase baja en ambos meses. Sin embargo para la parcela Mz-Av para ambos meses se mantuvo en clase media, de 16.4 a 17.9 Cmol(+)/Kg, para julio-septiembre, respectivamente. De acuerdo a Jaramillo (2002), el valor de la CIC de un suelo es fuertemente afectado por el valor del pH, es decir, al aumentar pH aumenta el valor de CIC. En las parcelas Mz y Mz-Cz, el pH disminuye de julio a septiembre al mismo tiempo que lo hace la CIC, de manera visual puede observarse en la gráfica 3, sin embargo para la parcela Mz-Av, ocurre lo contrario, al disminuir el pH se observa un incremento en la CIC. De acuerdo a Buckman y Brady (1982) y Foth (1997) la textura del suelo (concentración de arcillas) y materia orgánica también afecta a la C.I.C. Así, los suelos arcillosos y los suelos con un alto contenido de materia orgánica muestran valores altos y deseables de Capacidad de Intercambio Catiónico. La CIC se ve favorecida en Mz-Av en ambos meses, ya que es un suelo de textura arcillosa, sin

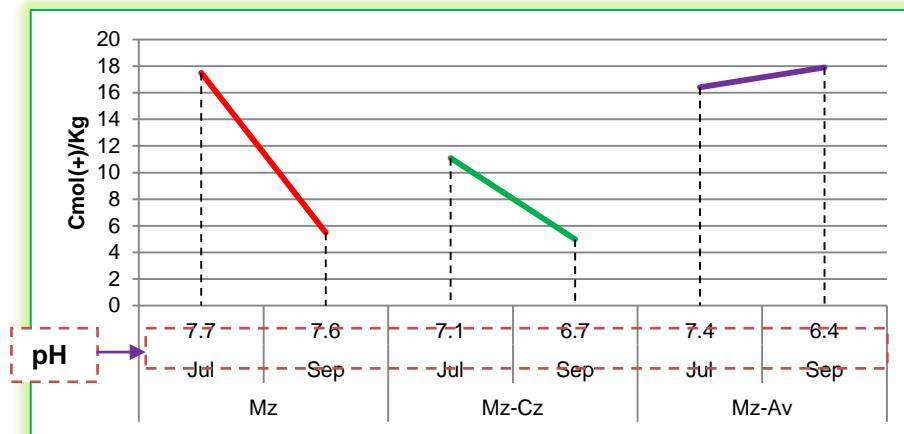
**Cuadro 7.** Características Químicas de los suelos de las parcelas.

Mes	Suelo Parcela	pH	Conductividad dS/m	Bases (Cmol(+)/Kg)			
		H <sub>2</sub> O		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
Jul	Mz	7.7	1.0	26.7	12.9	1.9	7.8
	Mz-Cz	7.1	0.3	20.4	9.9	0.8	0.7
	Mz-Av	7.4	0.3	35.9	15.5	1.1	0.8
Sep	Mz	7.6	0.7	19.9	11.1	3.8	0.7
	Mz-Cz	6.7	0.1	15.6	7.4	0.2	0.6
	Mz-Av	6.4	0.1	23.6	10.9	0.6	0.7
		CIC Cmol(+)/Kg	Fosforo Disponible Bray y Kurtz 1; ppm	% Nitrógeno Total	% Mat. Orgánica		
Jul	Mz	17.5	180.8	0.4	2.6		
	Mz-Cz	11.1	10.7	0.2	0.3		
	Mz-Av	16.4	8.3	0.1	1.0		
Sep	Mz	5.5	20.8	0.3	1.9		
	Mz-Cz	5.0	3.8	0.1	1.1		
	Mz-Av	17.9	6.7	0.1	1.6		



**Grafica 2.** Comparacion de suelo pH-Conductividad-Precipitación por mes y parcela

embargo la CIC en la parcela Mz-Av es menor en Julio, ya que el porcentaje de materia orgánica es menor comparado con el mes de Septiembre donde se observa un incremento de CIC debido a que incrementa el contenido de materia orgánica. En el caso de la parcela Mz aunque el contenido de materia orgánica se pierde y no se recupera para el segundo mes, además el porcentaje de arcillas es menor a Mz-Av. Por otra parte para Mz-Cz, aunque el contenido de materia orgánica aumenta para el segundo mes de la evaluación, el porcentaje de arcillas es bajo y el de arenas es alto.



Gráfica 3. Relación pH-CIC por parcela.

El calcio (Ca) y magnesio (Mg) forman parte de los llamados nutrientes secundarios, sin embargo, son tan esenciales como los macronutrientes, solo que se les designa de esta manera debido a que son consumidos en menor proporción que los primeros. El suelo de las parcelas presentaron disminuciones en la concentración de  $Ca^{++}$  intercambiable conforme se redujeron las precipitaciones, para el caso de la parcela Mz para el mes de julio tuvo una concentración de 26.7 Cmol(+)/Kg y para el siguiente mes 19.9 Cmol(+)/Kg. Por otra parte los suelos de Mz-Cz presentaron una concentración de 20.47 Cmol(+)/Kg y 15.6 Cmol(+)/Kg, para julio y septiembre, respectivamente. Para Mz-Av la concentración inicial fue de 35.9 Cmol(+)/Kg y finalizando para el mes de septiembre con 23.6 Cmol(+)/Kg. Comparando estos resultados con la NOM-021-SEMARNAT-2000, estos suelos contienen altas concentraciones de  $Ca^{++}$  intercambiable. El uso de suelo mas demandante de este nutriente es el Maíz, ya que de acuerdo a Andrade *et al.* (1996) y Ciampitti y García (2012) requiere 3 kg de Ca por Ton de grano. El magnesio forma parte esencial de la molecula de clorofila, el colorante de las plantas (Castellanos *et al.* 2000). Para el caso de la concentración de  $Mg^{++}$  intercambiable, del mismo modo se presentaron disminuciones conforme se redujeron las precipitaciones, para el caso de la parcela Mz para el mes de julio tuvo una concentración de 12.9 Cmol(+)/Kg y para el siguiente mes 11.1Cmol(+)/Kg. Por otra parte los suelos de Mz-Cz presentaron una concentración de 9.9 Cmol(+)/Kg y 7.4Cmol(+)/Kg, para julio y septiembre, respectivamente. Para Mz-Av la concentración inicial fue de 15.5 Cmol(+)/Kg y finalizando para el mes de septiembre con 10.9Cmol(+)/Kg. Comparando estos resultados con la NOM-021-SEMARNAT-2000, estos suelos contienen altas concentraciones de  $Mg^{++}$  intercambiable. El Magnesio satura sólo del 5-20% de la CIC comparado con el Ca que satura del 60-80% de la CIC en los suelos neutros. En cuanto a la relación Ca/Mg, Tisdale *et al.* (1993) indican que una alta concentración de calcio puede provocar una deficiencia de magnesio,

sin embargo, eso ocurre cuando dicha relación rebasa el nivel de 10 a 15 Cmol(+)/Kg. Sin embargo, Fox y Piekielek (1984) no reportaron reducciones en el rendimiento de maíz cuando dicha relación varía desde 1.8 a 36.9. Por otro lado, sugirieron que el desbalance de estos elementos ocurre cuando la relación de Ca/Mg está por debajo de 0.5, donde probablemente ocurra una deficiencia de Ca o una toxicidad de Mg. En el cuadro 8, se observa la relación Ca/Mg, de acuerdo a lo anterior, los suelos de las parcelas tienen óptimas concentración de Ca y Mg para el desarrollo de los cultivos.

**Cuadro 8.** Relación Calcio/Magnesio

Mes	Suelo Parcela	Relación Ca/Mg Cmol(+)/Kg
Jul	Mz	2.07
	Mz-Cz	2.06
	Mz-Av	2.32
Sep	Mz	1.79
	Mz-Cz	2.11
	Mz-Av	2.17

El suelo de la parcela Mz tuvo una concentración inicial de  $K^+$  de 1.9 Cmol(+)/Kg y para el mes de septiembre incrementó su concentración a 3.8 Cmol(+)/Kg, esto de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, en ambos meses la concentración es de clase alta. Para Mz-Av durante los dos meses se mantuvo con una concentración alta de 1.1 Cmol(+)/Kg y 0.6 Cmol(+)/Kg, en julio y septiembre, respectivamente. En el caso de Mz-Cz la dinámica fue diferente, para el primer mes se reportó una concentración de clase alta con 0.8 Cmol(+)/Kg y una concentración de clase baja con 0.2 Cmol(+)/Kg para el mes de septiembre. Como ya se había comentado anteriormente en la parcela Mz los valores son altos ya que se le agregan constantemente estiércol de ganado como abono orgánico. Otro nutriente primario importante que limita la productividad del cultivo, además del nitrógeno es el fósforo. En el cuadro 15 se tiene la Interpretación de la concentración de fósforo disponible en el suelo de acuerdo a Clark *et al.* (1995). Demostrando que la parcela Mz en ambos meses, 180.8 – 20.8 ppm, es de nivel alto, el dueño de esta parcela agrega constantemente el estiércol de su ganado, es por esto que de acuerdo a Castellanos (1986); Muñoz y Castellanos (1988) el estiércol de ganado es uno de los desechos animales más eficientes para suministrar fósforo al suelo, es tan alta como la de los fertilizantes minerales e incluso la disponibilidad de fósforo en el suelo tiende a ser mayor en los abonos orgánicos que en los fertilizantes minerales. Sin embargo, en las parcelas Mz-Cz y Mz-Av, no se les agrega estiércol de ganado, es por esto que sus niveles de fósforo disponible se encuentran en un nivel medio; 10.7 ppm y 3.8 ppm, para julio y septiembre, respectivamente en Mz-Cz; por otro lado 8.3 ppm y 6.7 ppm, para julio y septiembre, respectivamente en Mz-Av.

## CONCLUSIÓN

En general, las concentraciones de Fosforo, Nitrógeno y Materia Orgánica en sedimento varia, presentándose mayor concentración en estos que en suelo o viceversa, e incluso encontrándose de manera equitativa. Los sedimentos de la parcela Mz, contiene menos concentraciones de Fosforo y Nitrógeno en sedimento que en suelo, sin embargo se aprecia que la Materia orgánica se encuentra concentrada 3 veces más en sedimentos que en el suelo. Por otra parte en Mz-Cz la concentración de nitrógeno esta en equilibrio tanto en sedimentos como en suelo, no obstante el Fosforo se encuentran ligeramente más concentrados en sedimentos, y la concentración de materia orgánica en esta parcela es similar a Mz, ya que su concentración es 3 veces mayor en sedimentos. Por último los datos para Mz-Av indican el doble de concentración de nitrógeno en sedimentos, para el caso de fosforo y materia orgánica las concentraciones son ligeramente mayores en sedimento.

## AGRADECIMIENTOS

Vicerrectoría de Estudios de Investigación y Estudios de Posgrado-BUAP por la beca otorgada para la realización de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Almoza, Y; Medina, H; Schiettecatte, W; Alonso, G; Rúiz, M. 2008. El uso de datos pluviométricos para la determinación del factor erosividad de las precipitaciones en el modelo RUSLE. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.
- Andrade F., H. Echeverría, N. Gonzalez, S. Uhart y N. Darwich. (1996). Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 134. EEA INTA Balcarce. Argentina.
- Buckman, H.; Brady, N. (1982). Naturaleza y propiedades de los suelos.
- Castellanos, J. Z., Uvalle, J. X., Aguilar A. (2000). Manual de Interpretación de análisis de suelo y aguas. 2ª Edición.
- Castellanos, J. Z. (1986). Evaluación del Estiércol de Bovino y Gallinaza como Fuentes de Fósforo en el Cultivo de Alfalfa. Agricultura Técnica en México.
- Ciampitti, I. y O. García F. (2012). Requerimientos Nutricionales Absorción y Extracción de Macronutrientes y Nutrientes secundarios: I. Cereales, Oleaginosos E Industriales; II. Hortalizas, Frutales y Forrajeras. International PlantNutritionInstitute: Revista Agronómica.
- Clark, C. A., Evans, D. D., White, J.L., Ensminger, L. E., Clark, F. E., (1995). Methods of Soil Analysis Part 2.
- FAO (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Departamento de Desarrollo Sostenible
- Foth, H. (1997). Fundamentos de la ciencia del suelo.
- Fox, R.H. y Piekielek, (1984). Relationship among anaerobically mineralized nitrogen, chemical indexes and nitrogen availability to corn. Soil Sci. Soc. Am. J.
- Haregeweyn, N., Poesen, J., Deckers, J., Nyssen, J., Haile, M., Govers, G., Verstraeten, G. & Moeyersons, J. (2008). Sediment bound nutrient export from micro-dam catchments in Northern Ethiopia. *Land Degradation & Development*.
- Jaramillo, Daniel (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional De Colombia Facultad De Ciencias, Medellín.
- Leal, Z; Díaz, J; Schiettecatte, W; Ruiz E; Almoza, Y. (2007). Efecto de la cobertura vegetal de cultivos agrícolas principales sobre el proceso de erosión en suelos de la cuenca del río Cuyaguaje. (en línea). Ciencias Técnicas Agropecuarias. Consultado 19 sept. 2011. disponible en: <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=684a8ee39322%40sessionmgr15&vid=1&hid=25>
- Michelena, Roberto (2013). Cómo Controlar la Erosión Hídrica para que no destruya los Suelos. Instituto de Suelos INTA Castelar.

- Morgan, R. (1997). Erosión y Conservación del suelo. (en línea). [http://books.google.cl/books?id=jcFqaFI-u1UC&printsec=frontcover&dq=morgan\\$source=gbs\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.cl/books?id=jcFqaFI-u1UC&printsec=frontcover&dq=morgan$source=gbs_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Muñoz, J. J. y J. Z. Castellanos (1988). Disponibilidad del Fósforo de los Estiércoles, solos y combinados con superfosfato triple en un suelo calcáreo.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Segunda sección, martes 31 de diciembre de 2002. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales.
- Rhoton, F. E., Emmerich, W. E., Goodrich, D. C., Miller, S. N. & Mcchesney, D. S. (2006). Soil Geomorphological Characteristics of a Semiarid Watershed: Influence on Carbon Distribution and Transport. *Soil Science Society of America Journal*.
- Rodriguez, A. R., Guerra, A., Arbelo, C., Mora, J. L., Gorrin, S. P. & ARMAS, C. (2004). Forms of eroded soil organic carbon in andosols of the Canary Islands (Spain). *Geoderma*.
- Roose, E. J. L., R.; Feller, C.; Barthès, B.; Stewart, B.A. (2006), Soil Erosion and Carbon Dynamics, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sain, J; Tripp, R; Brenes, E. (1994). Desafíos presente y futuros del medio ambiente y la productividad de la agroempresa centroamericana (en línea). San José. INCAE. Consultado 20 sept. 2011. Disponible en [http://books.google.hn/books?hl=es&lr=&id=zCbOT5dA\\_8C&oi=fnd&pg=PA7&dq=perdida+de+suelo+en+centroamerica&ots=veTxfe3TXg&sig=0KeqfrOaWUAL8EuIvLnWk8IyHyA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.hn/books?hl=es&lr=&id=zCbOT5dA_8C&oi=fnd&pg=PA7&dq=perdida+de+suelo+en+centroamerica&ots=veTxfe3TXg&sig=0KeqfrOaWUAL8EuIvLnWk8IyHyA#v=onepage&q&f=false)
- Sanzano, Agustín (2000). El Fósforo del Suelo. Química del Suelo; Cátedra de Edafología.
- Tisdale, S.L., W. L. Nelson, J.D. Beaton y J.H. Havlin (1993). Soil Fertility and Fertilizers. 5<sup>th</sup> Ed. Macmillan. New York.

# EFFECTOS DEL USO DEL SUELO SOBRE LA TASA DE EROSIÓN EN UNA CUENCA DE MONTAÑA CON BOSQUE DOMINANTE

Daniel GEISSERT <sup>a</sup>, Sarai SÁNCHEZ SILVA <sup>a</sup>, Luis MARTÍNEZ HERNÁNDEZ <sup>a</sup>, Alberto GÓMEZ-TAGLE CHÁVEZ <sup>b</sup>, Estela ENRÍQUEZ FERNÁNDEZ <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Ecología, A.C., Apdo. Postal 63, 91070 Xalapa, Ver., daniel.geissert@inecol.edu.mx

<sup>b</sup> INIRENA-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich.

<sup>c</sup> Universidad Veracruzana, Facultad de Economía y Geografía, Xalapa, Ver.

## RESUMEN

Los terrenos forestales comparados con los agrícolas, son relativamente poco sujetos a procesos erosivos en las regiones tropicales, sin embargo, los rápidos cambios de uso del suelo pueden revertir esta tendencia a corto plazo. Con el fin de evaluar el efecto del uso del suelo sobre la erosión hídrica, se realizó en la subcuenca montañosa del río Los Gavilanes (Coatepec, Ver.; 3,680 ha; 1,280-2,960 msnm) la zonificación de la pérdida de tierra, aplicando el modelo RUSLE en un sistema de información geográfica. La erosión potencial fue evaluada en promedio en 200 Mg/ha/año en 88.1% de la cuenca, lo cual indica que el terreno es altamente susceptible a erosionarse, debido principalmente a la erosividad de la lluvia ( $R > 8500$  MJ.mm/ha/h/año) y a las pendientes pronunciadas ( $LS > 7$ ). La erodabilidad del suelo de tipo Andosol no fue factor detonante, ya que es de bajo grado ( $K < 0.16$  Mg.ha.h/MJ/ha/mm). El uso forestal actual (bosque mesófilo de montaña dominante, bosque de pino, matorrales arbustivos) y los pastizales ocasionaron que 91.8% de la superficie (2,983 ha) presente pérdidas de suelo inferiores al nivel de tolerancia (10 Mg/ha/año), mientras que el 8.2% excede este límite, correspondiendo en su mayoría a usos agrícolas, en los cuales la pérdida puede alcanzar 179 Mg/ha/año. Debido a la importancia estratégica de esta cuenca como suministradora de agua a la ciudad de Coatepec, el análisis de varios escenarios de cambios de uso del suelo indicó que para evitar la erosión del suelo y garantizar el abasto de agua de calidad, es necesario conservar los bosques e incluso incrementar su superficie en pendientes fuertes y muy fuertes. En pendientes moderadas es posible impulsar o incrementar la agroforestería. Estrategias de conservación con usos forestales y agroforestales, generarían valores promedio de erosión de 0.3 y 8.93 Mg/ha/año, respectivamente. Las áreas agrícolas con cultivo dominante de maíz deberían restringirse a terrenos de poca pendiente, y con implementación de prácticas de conservación del suelo (cultivo en contorno, en fajas).

**Palabras clave:** cuenca, erosión, RUSLE, uso del suelo

## INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es un problema de gran magnitud en las cuencas hidrográficas, porque deteriora la productividad del suelo y la calidad del agua, provoca sedimentación e incrementa el riesgo de inundación. Su influencia negativa sobre la calidad del suelo y la productividad agrícola se debe a los efectos adversos sobre la infiltración, la capacidad de retención de agua, la disponibilidad de nutrientes, el contenido de materia orgánica, el espesor del suelo y la biota edáfica (Pimentel, 2000). En cuencas de zonas montañosas, la destrucción de los bosques y su transformación a usos agropecuarios son los principales responsables de la pérdida de suelo y de la introducción de sedimentos en el cauce de los ríos, lo cual deteriora progresivamente la calidad del recurso agua y provoca deslaves, azolves de presas e inundaciones en las partes bajas (Varis y Vakkilainen, 2001; Sidle *et al.*, 2004). Al contrario, la presencia de una cubierta vegetal aumenta la infiltración, reduce la escorrentía y limita la

erosión laminar (Woo y Luk, 1990). Los efectos negativos de la erosión del suelo también se acrecientan por cambios sociales, económicos y políticos (Pimentel, 2000).

México tiene una larga historia de conversión de áreas forestales en campos agrícolas y pastizales. Adicional a la deforestación directa, muchas áreas arboladas son destruidas cada año por incendios descontrolados, iniciados por campesinos que preparan sus tierras para la siembra. Las inconsistencias en la delimitación de propiedades, la pobreza y la impotencia política fomentaron la expansión de prácticas de uso del suelo aventuradas, que contribuyeron directamente a la sobreexplotación y degradación de los recursos agua y suelo. Diversos casos de incidencia de erosión en cuencas de montaña a causa de la deforestación han sido documentados (Millward y Mersey, 2001; Loeza, 2005; Turkelboom *et al.*, 2008; Zhou *et al.* 2008). Para revertir la tendencia de la deforestación, el Gobierno de México implementó el Programa de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos, basado en la evidencia de que las cuencas hidrográficas son proveedoras de agua en cantidad y calidad para las poblaciones que viven en ellas o dependen de ellas. En consecuencia, una cuenca con una adecuada cubierta arbolada, puede generar, además de los hidrológicos, otros servicios ambientales, tales como la retención de sedimentos y la captura de carbono.

Este estudio tiene por objetivo evaluar la erosión del suelo en forma cuantitativa con el modelo RUSLE, establecer la influencia de diversos factores, en particular el efecto del uso del suelo, y modelar la retención de sedimentos bajo diferentes escenarios de uso del suelo, en la subcuenca montañosa del río Los Gavilanes (municipio de Coatepec, Ver.). Dicha subcuenca es estratégica para proveer de agua a la ciudad de Coatepec y fue la primera en beneficiarse de un programa de pago de servicios hidrológicos en México (Scullion *et al.*, 2011).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO

La subcuenca del río Los Gavilanes pertenece a la cuenca alta del río La Antigua y se localiza entre los 97°06'09.46" W y 96°59'52.67" W y los 19°31'46.39" N y 19°27'33.2" N, en la ladera barlovento del estratovolcán Cofre de Perote, municipios de Coatepec y Xico, del estado de Veracruz. El clima es semicálido y húmedo en la porción baja (1090-1800 msnm), templado húmedo en la intermedia (1800-2400 msnm) y semifrío húmedo en la alta (2400-2960 msnm). El relieve se desarrolló sobre brechas y andesitas altamente intemperizadas, presentando un relieve suave de colinas con cauces de poca incisión en la parte alta. La parte media consiste en laderas de pendiente fuerte separadas por barrancas profundas en forma de "V". La porción baja presenta cerros bajos y lomeríos, separados por fondos de valle aluviales bien formados. Suelos de tipo Andosol se desarrollaron en la mayor parte de la cuenca, sobre andesita intemperizada y capas delgadas de cenizas (Rossignol *et al.* 1987). Las actividades humanas generaron un mosaico discontinuo de bosque mesófilo maduro, acahuals, bosque mesófilo secundario, bosque de pino y pino-oyamel, pastizales inducidos, matorral secundario de *Bacharis sp.* y *Pteridium sp.*, y cafetales, además de los asentamientos humanos, las áreas agrícolas y las huertas (Gómez-Tagle *et al.*, 2011).

La subcuenca tiene un área de 32.5 km<sup>2</sup>. La pendiente media es de 24.9° y la máxima de 60°. Los escurrimientos son de orden cuatro y totalizan 70.1 km de largo. La corriente principal es un cauce largo de 21 km. La elevada densidad de corrientes (1.52 km/km<sup>2</sup>) y el número de corrientes jóvenes indican la dominancia de los procesos fluvio-erosivos. Tanto el factor de forma (0.15), como el índice de forma (1.87) y coeficiente de redondez (5.2) indican una subcuenca de forma alargada, pero estrecha es sus extremos y ancha en la parte media, producto de un control geológico (derrames de andesita) y tectónico (fallas y fracturas).



## EROSIÓN Y RUSLE

La estimación de la pérdida de suelo anual (A) actual se obtuvo en formato raster en el software ArcView 3.2, a partir de la multiplicación de los factores R, K, LS, C y P, mediante la ecuación:

$$A = R * K * LS * C * P$$

donde:

A = Pérdida de suelo anual (Mg/ha/año)

R = Factor de erosividad (MJ.mm/ha/h/año)

K = Factor de erodabilidad de suelo (Mg.ha.h/MJ/ha/mm)

LS=Factor de longitud y factor de inclinación de la pendiente (adimensional)

C = Factor de manejo de cultivos (adimensional)

P = Factor de prácticas de conservación (adimensional).

El factor R se determinó a partir de los datos pluviométricos de las estaciones de Tembladeras y Coatepec (administradas por la Comisión Nacional del Agua) y de una estación automática independiente denominada La Cortadura (Holwerda *et al.*, 2010) en la parte media, correspondientes a los años 2007 y 2008. Se calculó el Índice Modificado de Fournier (IMF) propuesto por Arnoldus (1980) y con la ecuación de correlación obtenida a partir de los datos de Ramírez (2006), se calculó el factor R ( $R = 38.288 * IMF + 380$ ). Para obtener el mapa del factor R, los datos de las estaciones climatológicas fueron interpolados en el programa ArcView 3.2 con el método de Distancia Inversa (*Inverse Distance Weight*).

Para determinar el factor K se utilizó la metodología de Jasmin y Ravichandran (2008). El subfactor permeabilidad se obtuvo a partir de mediciones de infiltración en campo (Gómez-Tagle *et al.*, 2011) y los subfactores textura, materia orgánica y estructura, a partir de muestras de suelo colectadas en la subcuenca durante el estudio de infiltración. Se obtuvo el mapa del factor K por interpolación cartográfica de los datos antes mencionados.

El factor LS se determinó a partir de la multiplicación de los subfactores longitud (L) e inclinación de la pendiente (S) en archivo raster (Martínez, 2011). Los mapas de los subfactores se calcularon a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual se generó a partir de un archivo de curvas de nivel con cotas equidistantes de 10 m y a escala 1:20,000 de las cartas E14T179, E14T189, E14T270 y E14T280 de la empresa SIGSA, y sobre el cual se aplicaron las ecuaciones de cálculo del factor LS propuestas por McCool *et al.* (1997). Se calculó la longitud de flujo  $\lambda$  (extensión máxima de 304.5 m ó 1000 ft) a partir del MDE, siguiendo la dirección de flujo en ocho direcciones, mediante los algoritmos de la extensión *Spatial analyst*, para ArcView 3.2.

El insumo para el cálculo del factor C fue el mapa de uso de suelo, escala 1:20 000, que se obtuvo a partir de la interpretación de ortofotos digitales en B/N del año 2004, y la exactitud de los límites de las unidades se verificó mediante recorridos de campo (Gómez-Tagle *et al.*, 2011). El valor de C se asignó con base en los valores propuestos por Wischmeier y Smith (1978).

Al factor P se le asignó el valor de 1, que representa la ausencia de prácticas de manejo (Wischmeier y Smith, 1978; Renard *et al.*, 1997) tales como construcción de terrazas, cultivos en fajas o cultivos en contorno, debido a que durante los recorridos en campo se constató ese hecho en las zonas de cultivo de la subcuenca.

Para el cálculo de la pérdida anual de suelo (A) actual, la multiplicación de los mapas R, K, LS, C y P se realizó en formato raster (tamaño de celda de 10 m) con la herramienta *Map Calculator* de ArcView 3.2. Después, se transformó a vectorial mediante la extensión *Grid Converter* para obtener la versión de salida del mapa A (pérdida anual de suelos actual). Para obtener polígonos cartografiados, se aplicó el criterio del área mínima

cartografiado (4x4 mm) mediante la herramienta *Dissolve adjacent polygons*, fusionando las áreas menores a un polígono adyacente de mayor dimensión.

Para el cálculo de la pérdida anual de suelo potencial, la cual expresa la máxima pérdida posible de suelo en ausencia de cubierta vegetal y de prácticas de manejo, se realizó el mismo procedimiento antes descrito y se aplicó la ecuación  $Ap = R * K * LS$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### EROSIÓN DEL SUELO Y FACTORES DE CONTROL

#### Precipitación y erosividad

El registro de precipitación en la zona alta (estación Tembladeras) marcó 1,647 mm/año, en la zona intermedia (La Cortadura) 1,963 mm/año, y en la zona baja (Coatepec) 1,758 mm/año (Sánchez, 2011). En cuanto al factor R, presentó valores altos en un rango de erosividad de entre 7,522.3 y 11,177 MJ.mm/ha/h/año. Las áreas que presentaron los valores más elevados (10,446 a 11,176 MJ.mm/ha/h/año) se localizan en la parte media y baja de la cuenca (1500 a 2500 msnm). Conforme aumenta la altitud, la erosividad de la lluvia disminuye hasta alcanzar los valores mínimos (7,522.3 MJ.mm/ha/h/año) cerca de los 3000 msnm.

#### Erodabilidad

En la zona alta y media de la subcuenca, los suelos son de textura franca limosa, muy ricos en materia orgánica, con una estructura de clase 3-4 y una permeabilidad de clase 4-6 (Römken *et al.*, 1997). En la zona baja, los suelos son de textura arcillo-limosa, ricos en materia orgánica, con estructura de clase 4 y permeabilidad de clase 6. Se lograron diferenciar tres zonas de erodabilidad del suelo: la parte alta de la cuenca con registros de valores promedio de 0.1 Mg.ha.h/MJ/ha/mm, la parte media con valores promedio de 0.07 Mg.ha.h/MJ/ha/mm, y la parte baja donde se alcanzan los valores promedio más altos, con 0.16 Mg.ha.h/MJ/ha/mm. Según la categorización propuesta para el cálculo de la RUSLE (Jasmin y Ravichandran, 2008), el factor K en la subcuenca corresponde a baja erodabilidad.

#### Topografía y pendiente

Según la clasificación del factor LS propuesta por Ramírez (2006), el 39% de la superficie de la subcuenca presentó valores bajos (0-3), el 22% valores moderados (3-5), el 16% altos (5-7) y el 23% presentó valores muy altos ( $\geq 7$ ). Los valores máximos obtenidos fueron de 27.334.

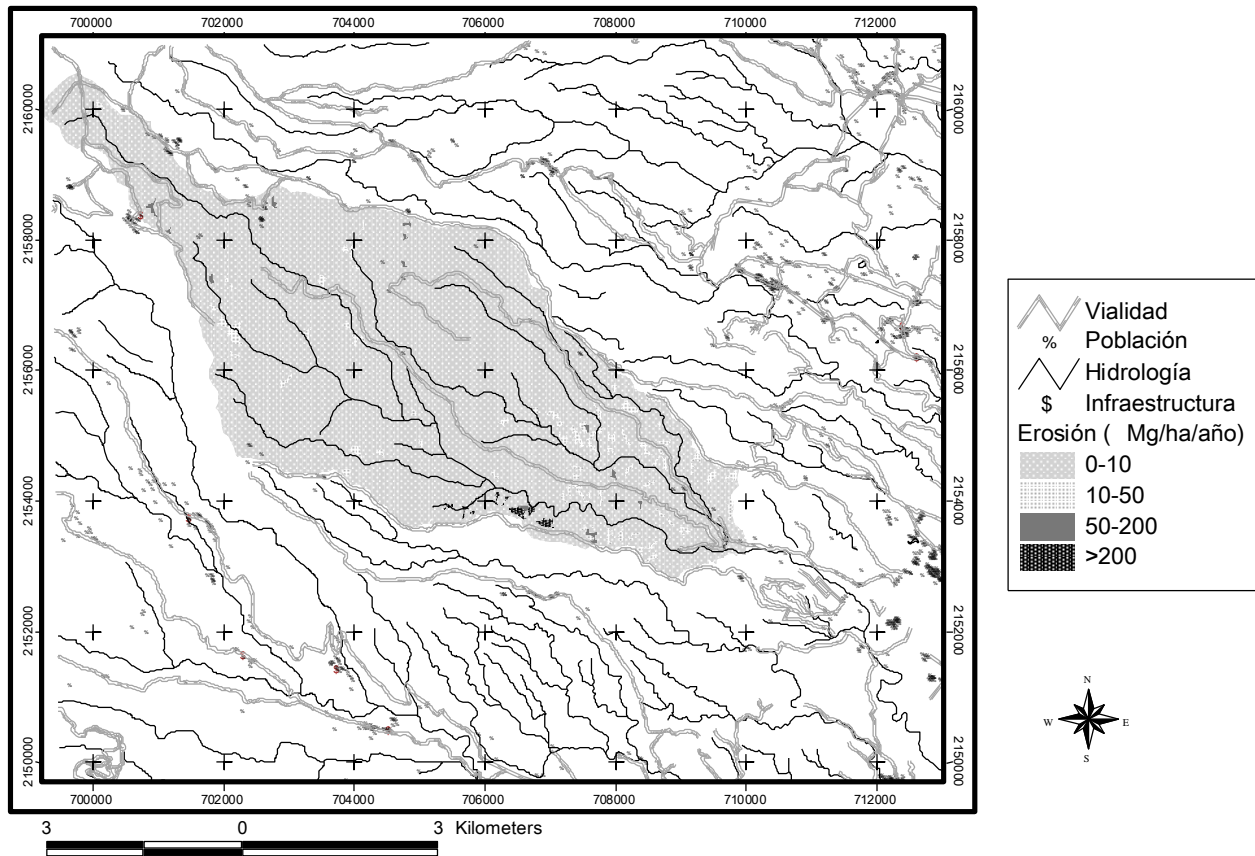
#### Uso del suelo y manejo

El factor C presentó valores altos en áreas antropizadas destinadas a actividades productivas (áreas agrícolas, pastizales y cafetales) que carecen de medidas de mitigación de la erosión y equivalen al 2.75% de la superficie. Las áreas agrícolas se encuentran principalmente en la zona alta sobre pendientes leves a moderadas, mientras que los pastizales y cafetales se localizan en la zona baja sobre pendientes moderadas a fuertes. Los valores bajos de C corresponden a áreas forestales o con alta cobertura vegetal (98.2% de la superficie), sobre pendientes fuertes a muy fuertes.

#### Pérdida de suelo actual y potencial

El valor promedio de pérdida anual de suelo (A) actual para la subcuenca fue de 11.77 Mg/ha/año. La categoría de 0-10 Mg/ha/año ocupa 2983 ha y la de 10-50 Mg/ha/año cubre 257 ha, mientras que las de pérdida de 50-200 Mg/ha/año y la superior a 200 Mg/ha/año corresponden respectivamente a sólo 9.45 ha y 0.442 ha (Fig. 1). Los

valores promedio del factor LS correspondientes a estas categorías fueron 8.6, 11.25, 23.24 y 21.94, respectivamente. El mayor grado de erosión se concentró en la zona baja con las categorías moderada y alta, debido a la presencia de cafetales, huertos y pastizales. En esta zona el factor LS presentó en su mayoría valores altos y muy altos. La zona intermedia presentó áreas difusas de erosión, localizadas en pastizales donde se alcanzan pérdidas moderadas; sin embargo es en esta zona donde el factor topográfico llega al valor máximo (LS = 27), aunque su efecto sobre la pérdida de suelo disminuye debido a que ahí existen extensas masas forestales.



**Figura 1.** Valor y distribución de la erosión anual actual en la subcuenca del río Los Gavilanes.

La estimación de la erosión anual potencial  $A_p$  refleja la pérdida de suelo en un escenario carente de cobertura vegetal ( $C=1$ ) y permite apreciar la susceptibilidad del terreno a erosionarse (Fig. 2). La pérdida potencial de suelo se distribuye de la siguiente manera: 11.6% de la superficie se encuentran dentro de la categoría de 10-50 Mg/ha/año, 0.3% tiene una pérdida de 50-200 Mg/ha/año y 88.1% con una pérdida > 200 Mg/ha/año. El valor más alto alcanzado en la subcuenca fue de 4649 Mg/ha/año.

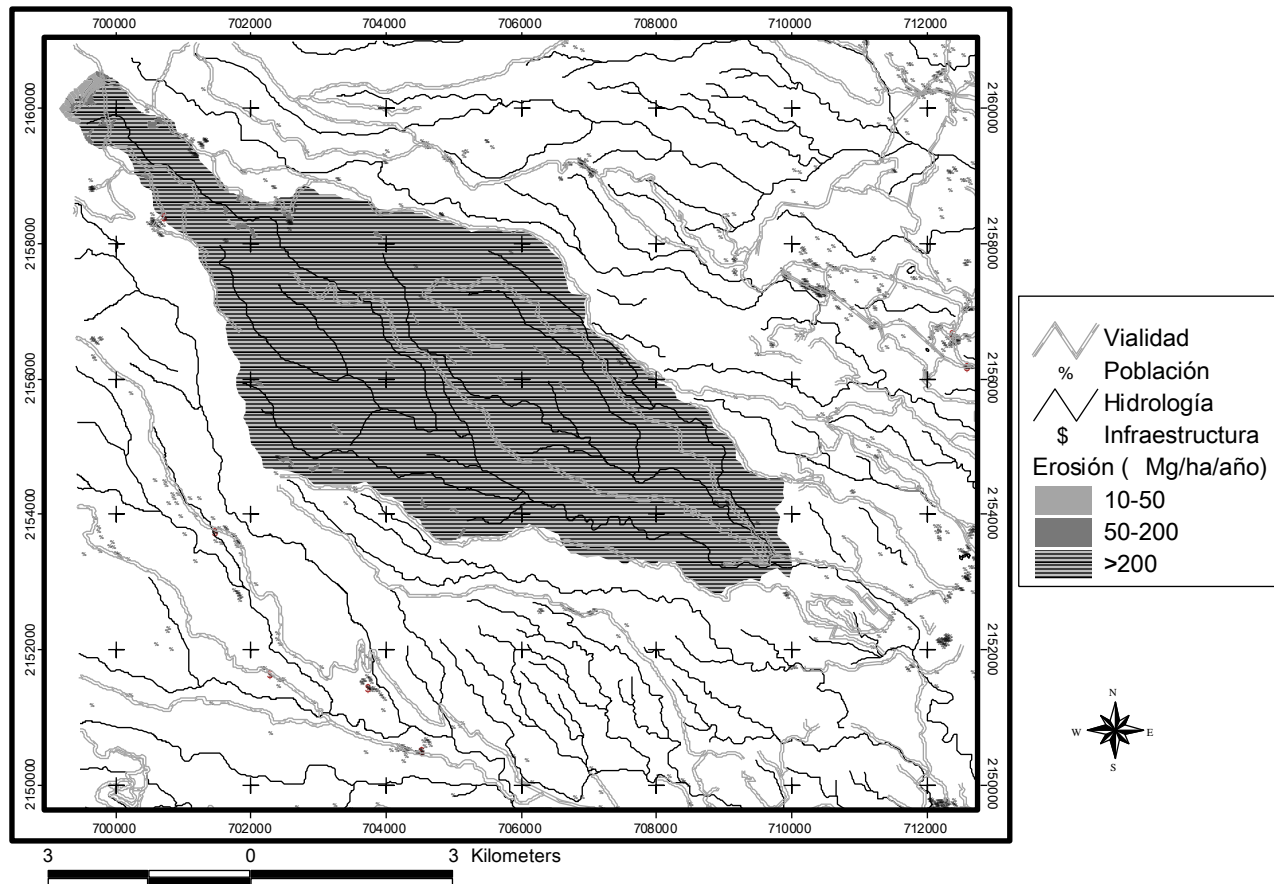


Figura 2. Valor y distribución de la erosión anual potencial en la subcuenca del río Los Gavilanes.

## EFFECTOS DEL USO DEL SUELO

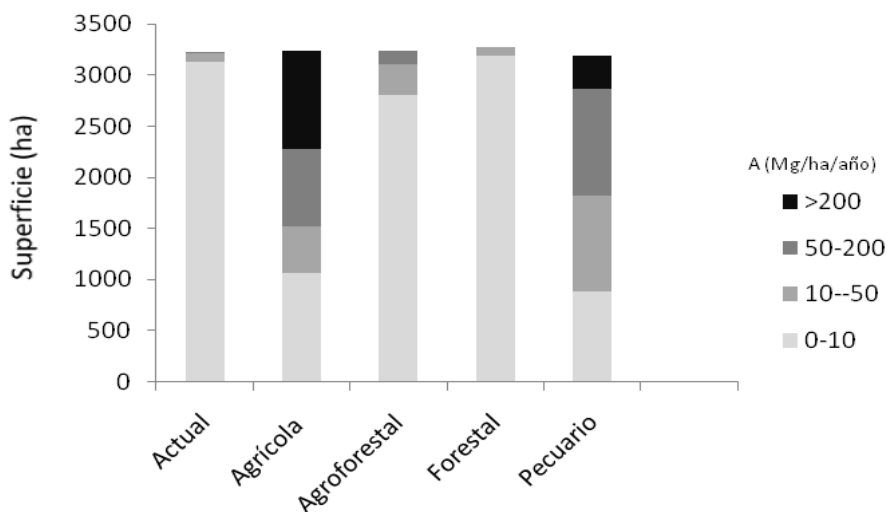
Los resultados mostraron que la erosión en la subcuenca se produce en áreas con escasa cobertura vegetal y que la tasa de pérdida de suelo se incrementa conforme la pendiente es más fuerte. De acuerdo con el mapa de erosión anual actual (Fig. 1), los usos de suelo detonadores de erosión presentan el siguiente orden descendente: agrícola > pastizal > regeneración de bosque mesófilo de montaña > bosque mesófilo secundario > cafetal > matorral de *Pteridium* > matorral de *Bacharis* > plantación > bosque de pino > bosque mesófilo relicto > bosque mesófilo de montaña > humedal. Cabe señalar que las principales formas de erosión que se encuentran en los bosques son los procesos de remoción en masa y la erosión en cárcavas, a causa del sobrepastoreo y de los caminos que sirven como canales de flujo concentrado (Young, 1989; Lal, 1992). La incidencia de los deslizamientos en la subcuenca de Gavilanes fue evidenciada por Cabrera (2011). En consecuencia, es posible que el modelo RUSLE subestime la pérdida de suelo, ya que solo evalúa la erosión laminar, intersurcos y de surcos (Renard *et al.*, 1997).

## ESCENARIOS DE CAMBIOS DE USOS DEL SUELO

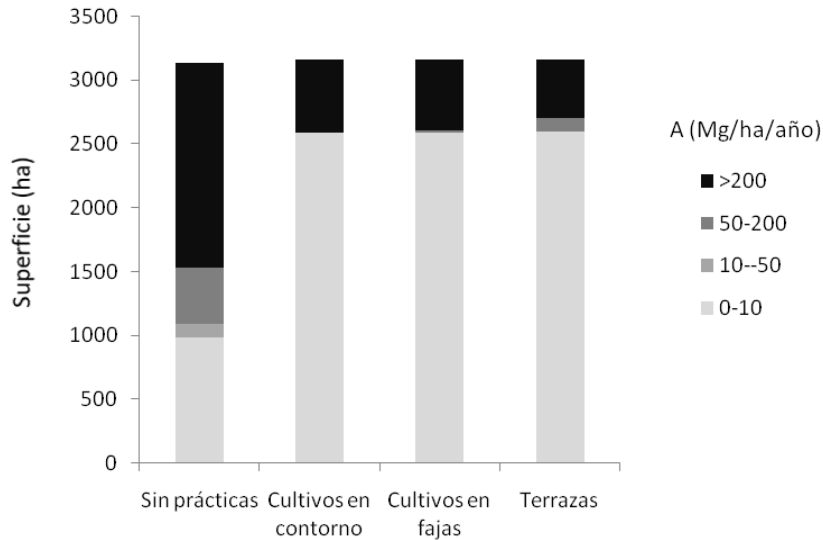
Se analizaron diferentes escenarios de cambios de uso de suelo generalizados a toda la subcuenca, a fin de definir estrategias de usos para minimizar la erosión y optimizar la retención de sedimentos (Sánchez, 2011). Se elaboraron los mapas correspondientes al uso forestal (C=0.001), agroforestal (C=0.01), pecuario (C=0.07) y agrícola (C=0.5). Para el uso agrícola se evaluaron los efectos de tres prácticas de manejo: cultivo en contorno (P=0.55 a 1.00), cultivo en fajas (P=0.27 a 0.5) y cultivo en terrazas (P=0.1 a 0.2); los valores son variables según la pendiente. El escenario de uso forestal generalizado minimiza la pérdida de suelo por erosión, en proporciones muy similares al del uso actual (Fig. 3). Los usos agrícola y pecuario son los que causarían el mayor riesgo de erosión y deberían restringirse a las pendientes más suaves. El uso agroforestal es una opción productiva viable en la mayor parte de la subcuenca, incluso en pendientes moderadas a fuertes. En la actualidad se reconoce que los sistemas agroforestales poseen muchas ventajas sobre los monocultivos en cuanto a su respuesta a la demanda de una agricultura multifuncional y además proveen servicios ecosistémicos importantes (Beer *et al.*, 1997).

Para el escenario de uso agrícola (maíz en las zonas media y alta, y plátano en la zona baja), el promedio de pérdida de suelo fue de 753 Mg/ha/año (Fig.4). Aplicando el cultivo en contorno la erosión media disminuiría a 350 Mg/ha/año, con el manejo de cultivos en fajas bajaría a 175 Mg/ha/año y con la construcción de terrazas a 70 Mg/ha/año. Respecto al uso agrícola generalizado sin prácticas de conservación del suelo, los tres manejos aumentarían en 100% la superficie de nula a baja erosión (0-10 Mg/ha/año).

Frente al elevado riesgo de erosión en la subcuenca, inducido por la alta erosividad y las pendientes pronunciadas, el uso de suelo es la medida más efectiva para mitigar la pérdida de suelo, ya que al disminuir los valores del factor C, también disminuye la erosión y de manera drástica. En pendientes muy pronunciadas con áreas agrícolas, el cambio de uso de suelo a forestal es la única forma de reducir la erosión, ya que las prácticas de cultivo en contorno y en fajas sólo son exitosas en pendientes ligeras y moderadas (Yue-quiring *et al.*, 2008).



**Figura 3.** Superficie por categoría de erosión y por uso de suelo. Subcuenca río Los Gavilanes.



**Figura 4.** Superficie y pérdida de suelo bajo escenario agrícola, con o sin prácticas de manejo. Subcuenca río Los Gavilanes.

## CONCLUSIÓN

- La erosión actual en el área de estudio es moderada, con un promedio de 11.3 Mg/ha/año. Sin embargo, el 97% de la cuenca se encuentra dentro de los límites de tolerancia de pérdida de suelo (< 10 Mg/ha/año).
- Los usos de suelo que fomentan un mayor grado de erosión son el agrícola y el pecuario, por lo que deben establecerse medidas de conservación de forma prioritaria en estos sistemas.
- La cobertura vegetal es el factor determinante de la erosión, ya que controla los niveles erosivos en las áreas con topografía más accidentada. El suelo, por sus bajos valores de erodabilidad, es el factor que mitiga la erosión de forma natural.
- Se recomienda privilegiar los usos forestales y agroforestales por las características ambientales de la zona, para que la subcuenca pueda proveer de forma duradera servicios hidrológicos y de retención de sedimentos.
- Para usos agrícolas y pecuarios, las estrategias de conservación de suelos y agua dependerán del factor topográfico. La implementación de cultivos en contorno, en fajas y terrazas es eficaz para pendientes leves y moderadas, mientras que en áreas agrícolas con pendientes pronunciadas se recomienda el cambio de uso de suelo a forestal.
- Los sistemas de información geográfica son instrumentos útiles para estimar la pérdida de suelo y localizar las áreas con mayor riesgo de erosión para el establecimiento de estrategias de conservación.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado parcialmente por el Conacyt (SEP-CONACYT 106788).

## REFERENCIAS

- Arnoldus, H. M. J. 1980. *An approximation of the rainfall factor in the USLE*. En: M. DeBoodt and D. Gabriels (Editors), Assessment of Erosion. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 127-132.
- Beer, J. R., Muschler, R., Kass, D., Somarriba, E. 1997. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38 (1-3):139-164.
- Cabrera Aguilar, L. 2011. *Los deslizamientos: zonificación de la susceptibilidad y del grado de peligro en la cuenca del río Los Gavilanes, municipios de Coatepec y Xico, Veracruz, México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Economía y Geografía, Universidad Veracruzana. 75 p.
- Gómez-Tagle Ch., A., Geissert, D., Pérez-Maqueo, O., Marín-Castro, B., Rendón-López, B. 2011. *Saturated hydraulic conductivity and land use change, new insights to the payments for ecosystem services programs: a case study from a tropical montane cloud forest watershed in eastern central Mexico*. En: Dikinya O. (ed.). Developments in Hydraulic Conductivity Research. InTech Publisher (Open Access Publisher). pp. 225-248.
- Jasmin, I. y Ravichandran, S. 2008. RUSLE2 Model application for soil erosion assessment using remote sensing and GIS. *Water Resource Management* 22: 83–102.
- Holwerda, F., Bruijnzeel, L.A., Muñoz-Villers, L.E., Equihua, M., Asbjornsen, H. 2010. Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forests of central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology* 384: 84-96.
- Lal, R. 1992. *Restoring land degraded by gully erosion in the tropics*. En: Lal y Stewart. Soil Restoration. Advances in Soil Science. Springer Verlag. New York. pp 123-152.
- Loeza H., F. 2005. *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del Río Sedeño*. Tesis Licenciatura. Universidad Veracruzana.
- Martínez H., L. 2011. *Determinación y zonificación del factor LS de la RUSLE en la cuenca del río Los Gavilanes, Veracruz, México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Economía y Geografía, Universidad Veracruzana. 56 p.
- McCool, D.K., Foster, G.R., Weesies, G.A. 1997. *Slope length and steepness factors*. En: Renard, Foster, Weesies, McCool and Yoder (coord.). Predicting Soil Erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss equation (RUSLE). Chap. 4, U.S. Department of Agriculture, Agriculture handbook No. 703, pp. 101-142.
- Millward, A., y Mersey, J.E. 2001. Conservation strategies for effective land management of protected areas using an erosion prediction information system (EPIS). *Journal of Environmental Management* 61: 329–343.
- Pimentel, D. 2000. Soil Erosion and the Threat to Food Security and the Environment. *Ecosyst. Health*, 6 (4), 221–226.
- Ramírez, O. F. A. 2006. *Evaluación del Riesgo por Erosión Potencial de la zona Cafetalera Central del Departamento de Caldas*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Tolima, Colombia.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. (Coord.) 1997. *Predicting Soil Erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss equation (RUSLE)*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, 404 p.
- Rosignol, J-P., Geissert, D., Campos, A., Kilian, J. 1987. *Mapa de unidades morfoedafológicas del área Xalapa-Coatepec, escala 1:75,000*. INIREB-ORSTOM-CIRAD, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Ver.
- Römkens, M.J.M., Young, R.A., Poesen, J.W.A., McCool, D.K., El-Swaify, S.A., Bradford, J.M. 1997. *Soil Erodibility factor (K)*. En: Renard, Foster, Weesies, McCool and Yoder (coord.). Predicting Soil Erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss equation (RUSLE). Chap. 3, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, pp. 65-99.
- Sánchez S., S. 2011. *Estrategias de conservación de los recursos suelo y agua mediante un modelo de predicción de la erosión (RUSLE), en la microcuenca de montaña "Los Gavilanes", municipio de Coatepec, Veracruz*. Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Ver., 63 p.
- Scullion, J., Thomas, C.W., Vogt, K.A., Pérez-Maqueo, O., Logsdon, M. 2011. Evaluating the environmental impact of payments for ecosystem services in Coatepec (Mexico) using remote sensing and on-site interviews. *Environmental Conservation* 38(4): 426-434.
- Sidle, R.C., Taylor, D., Lu, X. X., Adger, W.N., Lowe, D.J., de Lange, W.P., Newnham, R.M., Dodson, J.R. 2004. Interactions of natural hazards and society in Austral-Asia: evidence in past and recent records. *Quaternary International* 118–119: 181–203.

- Turkelboom, F., Poesen, J., Trébuil, G. 2008. The multiple land degradation effects caused by land-use intensification in tropical steeplands: A catchment study from northern Thailand. *Catena* 75: 102–116.
- Varis, O. y Vakkilainen, P. 2001. China's 8 challenges to water resources management in the first quarter of the 21st Century. *Geomorphology* 41, 93–104.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide for conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 537. Washington. 58 p.
- Woo, M. y Luk, S. 1990. Vegetation effects on soil and water losses on weathered granitic hillslopes, south China. *Physical Geography* 11, 1–16.
- Young, A. 1989. *Agroforestry for soil conservation*. Science and Practice of Agroforestry No. 4, ICRAF, CAB International, 318 p.
- Yue-qing, X., Jian, P., Xiao-mei, S. 2008. Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: a case study of the Maotiao River watershed, Guizhou Province, China. *Environmental Geology* 45 (3): 254-267.
- Zhou, P., Luukkanen, O., Tokola, T., Nieminen, J. 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena* 75: 319–325.



# CAMBIOS MORFOLÓGICOS DEL TERRENO EN LA CUENCA DE EL AHOGADO, CAUSADOS POR LA EXPANSIÓN DEL ÁREA URBANA DE GUADALAJARA.

J. Jesús DÍAZ-TORRES, Elizabeth LEÓN-BECERRIL, Alberto LÓPEZ-LÓPEZ, Gustavo DÁVILA-VÁZQUEZ y Juan GALLARDO-VALDEZ

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C.  
Av. Normalistas #800, Col. Colinas de la Normal C. P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
e-mail: jdiaz@ciatej.net.mx

## RESUMEN

La cuenca de El Ahogado tiene un sistema hidrológico complejo, debido a la gran variedad de actividades productivas que allí se han establecido. El desarrollo de estas actividades se asocia con el crecimiento urbano y la extensión del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG).

El análisis de dos modelos digitales de elevación con diferente escala espacial, exhibe la influencia de la extensión del área urbana de Guadalajara dentro de la cuenca de El Ahogado. La construcción de infraestructura urbana sobre el sistema natural de drenaje ha provocado la modificación de la morfología del terreno, esta se refleja en la configuración obstaculizada del sistema de subcuencas y su red de drenaje. La obstrucción de sus cauces naturales ha causado el detrimento de algunos procesos físicos, necesarios para sostener el equilibrio de las condiciones naturales de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas.

En la actualidad el AMG continúa creciendo de forma desordenada, y la morfología del terreno en la cuenca de El Ahogado es uno de los principales factores que deben ser incluidos dentro de los criterios de evaluación de factibilidad, aptitud y uso del suelo para el ordenamiento de su territorio. La implementación de modelos conceptuales como Presión-Estado-Respuesta (PER) representan una base sobre la cual se pueda apoyar un esquema de ordenamiento que fomente el desarrollo urbano, con un bajo factor de impacto sobre la morfología del terreno y el ambiente de la cuenca de El Ahogado.

**Palabras clave:** Cuenca, El Ahogado, MDE, Geomorfología, Infraestructura Urbana, Guadalajara.

## 1 INTRODUCCIÓN

La cuenca de El Ahogado pertenece al sistema de cuenca hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, tiene una extensión de ~510.40 km<sup>2</sup>, y está compuesta por tres unidades geomorfológicas. Entre estas predomina una amplia planicie cubierta por material pumítico y aluvial provenientes de la Sierra La Primavera. La morfología de la cuenca está constituida por amplios valles rodeados de estructuras volcánicas, típica de la región occidental del Eje Neovolcánico, pero con una estratigrafía diferente al resto de la provincia.

La morfología de la cuenca de El Ahogado se ha visto modificada debido a la construcción de infraestructura vial e hidráulica asociada con el crecimiento del área urbana y la población de la ciudad de Guadalajara. El crecimiento urbano también ha provocado el cambio en el uso del suelo, y consecuentemente ha reducido el área de recarga. Estos cambios inciden sobre la calidad y disponibilidad de agua superficial y subterránea en el área

de estudio, por lo que su estado de degradación del recurso hídrico afecta de forma directa el ambiente y la salud de la población asentada dentro de la cuenca.

La rápida expansión del área urbana impone la necesidad de identificar dichos cambios, así como el monitoreo de aquellos que se tengan previstos, con el objetivo de evaluar su impacto ambiental.

El análisis geomorfológico de la cuenca de El Ahogado a partir de dos modelos digitales de elevación con diferente resolución, ofrece una perspectiva de los cambios significativos causados por la construcción de infraestructura urbana hasta el año 2001. Los resultados de este trabajo exhiben algunas zonas de interés, donde es necesario evaluar el desarrollo de la nueva infraestructura urbana.

Este trabajo tienen como objetivo caracterizar las condiciones naturales de la morfología del terreno que existían hasta antes de la expansión urbana, por medio de un modelo digital del terreno con resolución media; y establecer un contraste respecto a la condición alterada del terreno, representada por un modelo de alta resolución espacial.

## **2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

La estratigrafía regional de la cuenca de El Ahogado está constituida por rocas que pertenecen a tres provincias geológicas: El Basamento cordillerano del Bloque Jalisco (BJ); el vulcanismo de la Sierra Madre Occidental (SMO) y al vulcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano (ENVT).

### **2.1. EL BLOQUE JALISCO**

Está formado por una secuencia de rocas volcánicas de lavas riolíticas y andesíticas, depósitos volcanoclásticos y rocas sedimentarias marinas, que se desarrolló entre el Cretácico tardío y el Paleoceno tardío (Gastil *et al.*, 1978). La secuencia estuvo expuesta a metamorfismo de grado medio, plegamiento y fallamiento, y fue intruida por rocas plutónicas de granito, granodiorita y tonalita que se emplazaron durante el Cretácico tardío y el Eoceno medio: estas rocas constituyen al Batolito de Puerto Vallarta (Ferrari *et al.*, 2000). El análisis de un perfil estratigráfico extraído en el centro de la Sierra La Primavera confirma la presencia de la secuencia de rocas del Bloque Jalisco a más de 100 m de profundidad, respecto al nivel medio del mar (Ferrari *et al.*, 2000).

### **2.2. LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL**

Se formó adyacente al Bloque Jalisco y a lo largo del Graben de Tepic, donde afloran ignimbritas formadas por la explosiva actividad volcánica, representativa de la región sur de la Sierra Madre Oriental. Las unidades de ignimbritas que afloran en la barranca del Río Santiago en torno a la Presa Santa Rosa, al sur y oriente del Lago de Chapala, están compuestas por capas de flujos de cenizas que se depositaron durante el Mioceno temprano (Ferrari *et al.*, 2000; Ferrari *et al.*, 2002; Rossotti *et al.*, 2002), sus edades son semejantes a las ignimbritas que se han documentado en trabajos previos en la región norte de Jalisco y en los estados de Zacatecas y Durango (Nieto-Obregón *et al.*, 1985; Moore *et al.*, 1994; Webber *et al.*, 1994). El análisis de la columna estratigráfica tomada de la Caldera de Sierra La Primavera señala que en la secuencia estratigráfica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y sus alrededores, hay una inconformidad que separa a rocas emitida por la actividad de SMO y el Eje Neovolcánico. El lapso de tiempo de esta inconformidad corresponde al orden de ~10 Ma (Ferrari *et al.*, 2000; Rossotti *et al.*, 2002), esto sugiere la ocurrencia de un evento tectónico que provocó la ausencia de las ignimbritas de la SMO para dar inicio a la actividad del Eje Neovolcánico (Rossotti *et al.*, 2002).

### **2.3. EJE NEOVOLCÁNICO TRANSMEXICANO**

La región occidental del *Eje Neovolcánico Transmexicano* tuvo su origen con el inicio del vulcanismo durante el Mioceno medio-tardío (Ferrari *et al.*, 2000; Rossotti *et al.*, 2002), y está relacionado con la subducción de la Placa Rivera y la Dorsal del Pacífico Oriental (Demant, 1979). El ENVT se caracteriza por la alternancia en la composición magmática (Rossotti *et al.*, 2002). La última etapa de la actividad volcánica explosiva registrada corresponde a la que generó el Complejo Volcánico de Sierra La Primavera, está constituida por lavas riolíticas, derrames piroclásticos, tobas y depósitos lacustres y aluviales que se formaron durante el Pleistoceno superior (Mahood, 1977; 1980), esta explosividad cesó hace ~97-95 Ka (Demant y Vincent, 1978; Mahood, 1980; Urrutia-Fucuguachi *et al.*, 2000). Con la emisión de la toba Tala (~120-95 Ka), la cámara magmática de La Primavera se colapsó y formó una caldera volcánica donde se depositaron sedimentos lacustres. El vulcanismo al interior de la caldera se reactivó y comenzó a emitir lavas para formar el complejo de domos riolíticos dentro de la caldera de La Primavera (Demant y Vincent, 1978; Mahood, 1980). Este proceso se mantuvo por ~70 Ka y concluyó con la formación del Domo El Coli hace ~30 Ka (Mahood, 1980).

La emisión de la toba Tala generó grandes cantidades de material pumítico y ceniza de caída aérea que se depositaron en torno a Sierra La Primavera, formando gruesos paquetes sedimentarios (Demant y Vincent, 1978), parte de estos sedimentos yacen sobre gran parte de la planicie de la cuenca de El Ahogado.

### **2.4. UNIDADES LITOLÓGICAS EN LA SUPERFICIE DE LA CUENCA DE EL AHOGADO**

La litología en la cuenca de El Ahogado está constituida por rocas del Mioceno tardío al Pleistoceno ((Demant y Vincent, 1978; Mahood, 1977 y 1980; Ferrari *et al.*, 2000; Urrutia-Fucuguachi *et al.*, 2000; Rossotti *et al.*, 2002; Rosas-Elguera *et al.*, 1997), estas se distribuyen de la siguiente forma: En el sector norte de la cuenca afloran derrames basálticos y conos cineríticos de composición basáltica y andesítica que definen a la Cadena Volcánica del Sur de Guadalajara, estos derrames se produjeron durante el Plioceno-Pleistoceno, previo a la formación del Complejo Volcánico de La Primavera. El límite sur de la cuenca está sobre una pequeña sierra formada predominantemente por rocas compuestas por lavas andesíticas a basálticas, desarrolladas durante el Pleistoceno. El sector oeste de la cuenca está formado por un conjunto de domos riolíticos que pertenecen a la Sierra La Primavera y se desarrollaron durante el Pleistoceno tardío. El piedemonte y planicies y de la cuenca de El Ahogado están cubiertos por depósitos volcanoclásticos, mientras que los canales de varios arroyos están cubiertos por depósitos aluviales cuaternarios.

## **3. CRECIMIENTO DEL ÁREA URBANA DE GUADALAJARA**

La expansión del AMG ligada al crecimiento poblacional incrementó significativamente entre 1940 y 1980 (Ruiz Velazco-Castañeda, 2004), su crecimiento surge como resultado del desarrollo industrial y comercial fomentado por el crecimiento de la pequeña industria localizada en la Guadalajara y la expansión comercial proveniente principalmente de la ciudad de México (Arias, 1982; Durand, 1986; Mercado-Pérez, 2004).

Entre 1940 y 1960, la ciudad de Guadalajara comenzó a extenderse en el territorio, y su tasa de crecimiento poblacional alcanzó el 5.5 y 8.7% (Ruíz Velazco-Castañeda, 2004). En la década de los años 70's comenzó el proceso de conurbación, y con el crecimiento de la ciudad de Guadalajara pronto se ocuparon terrenos de predios rústicos y núcleo agrarios contiguos en los municipios de Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá (Jiménez-Huerta,

2007). Entre 1970 y 2010, se consolidó el AMG, abarcando gran parte del territorio de los municipios mencionados, así como de El Salto y Tlajomulco de Zúñiga. Durante este mismo periodo se presentan las tasas de crecimiento medio anual más altas a nivel municipal, destacando aquellas que alcanzaron entre el 6 y 12% (Figura 1). El área urbana de Guadalajara pasó de tener 2,620 ha en 1940 a 59,698.47 ha en 2010 (Tabla I).

Por otra parte, durante el periodo de 1970 a 2010, la superficie de área urbana dentro de la cuenca de El Ahogado pasó de tener 703.56 ha a 21,759.62 (Tabla I). Después de los últimos 40 años, el área urbana de la cuenca representa poco más del 36% de la superficie total del AMG, y más del 42.5% respecto al área total de la cuenca (Figura 2).

#### **4. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL AHOGADO**

Una cuenca hidrográfica representa la unidad básica para evaluar la morfología del terreno, mediante una serie de indicadores geomorfológicos. El análisis geomorfológico es capaz de resaltar características topográficas que derivan de la incidencia de procesos tectónicos y climáticos.

Para calcular el conjunto de parámetros e índices geomorfológicos en la cuenca de El Ahogado hemos empleado el modelo digital de elevaciones con una resolución espacial de 3 segundos de arco (~90 m) generado en Febrero del año 2000 por el programa *Shuttle Radar Topography Mission*, encabezado por la NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) y la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Este modelo contiene datos de la elevación del terreno, que excluyen los cambios topográficos derivados del crecimiento del área urbana de Guadalajara.

Por otra parte, se generó un modelo digital de elevaciones con resolución espacial de 2 m, a partir de los datos de altimetría que proporciona el Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco (IITE). La altimetría está constituida por curvas de nivel con equidistancia de 1 m, estas se obtuvieron mediante la restitución de vuelos a escala 1:4,500 y 1:10,000 para los años 1998 y 2001, respectivamente. El modelo presenta los cambios topográficos más significativos ocurridos hasta el año del 2001, y producidos a causa de la construcción de infraestructura vial e hidráulica asociada al crecimiento del área urbana.

##### **4.1. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA**

Para identificar la configuración morfológica del terreno se han calculado varios índices geomorfológicos en el área de estudio. En este trabajo se presentan cuatro de ellos, los dos primeros reflejan la inclinación y distribución del terreno: pendiente y la integral hipsométrica (Strahler, 1952); los otros dos exhiben características de la red de drenaje asociadas con la acumulación de efluentes, así como la relación del área de aporte y el gradiente en secciones de cauces: el orden jerárquico de cauces (Horton, 1945; Strahler, 1953) y el índice SA (Hack, 1973; Flint, 1974; Burbank y Anderson, 2001; Keller y Pinter, 2002; Finlayson *et al.*, 2002; Whipple, 2004; Wobus *et al.*, 2006; Díaz-Torres *et al.*, 2012).

La cuenca de El Ahogado tiene una superficie de ~510.40 km<sup>2</sup>, está compuesta por un sistema de subcuencas con características morfológicas muy distintas entre sí. Las subcuencas provenientes de la vertiente de Sierra La Primavera y la zona suroeste son de las más extensas y presentan el relieve más alto de la cuenca. Son subcuencas muy elongadas por donde fluyen importantes corrientes durante la temporada de lluvias. Todas estas corrientes confluyen hacia la parte central de la cuenca.

*La pendiente del terreno* dentro de la cuenca de El Ahogado exhibe una morfología suavizada que predomina sobre la amplia planicie central. Las estructuras volcánicas de la Sierra La Primavera y la Cadena Volcánica del Sur de Guadalajara que rodean la planicie, tienen laderas donde la inclinación de la pendiente varía de 15° a 45°, y en algunas secciones superan los 45° (Figura 3A).

*La hipsometría* indica el estado de evolución morfológica de las cuencas en función del grado de incisión que ejerce su sistema de drenaje. El análisis hipsométrico revela que gran parte de la cuenca de El Ahogado presenta un relieve somero que se extiende en la parte baja y media de la cuenca, sobre el amplio Valle de Toluquilla y entorno a los cuerpos de agua de la Presa La Rusia, El Ocotillo, Las Pintas y El Ahogado, entre otros. La integral hipsométrica calculada para la relación de área-altura señala que el volumen de masa total de la cuenca representa solo el 13%. El relieve es mayor en las partes altas de la cuenca, donde se encuentra la Sierra La Primavera y las cadenas volcánicas que bordean la porción norte y sur de la cuenca (Figura 3B). Esta distribución morfológica es característica de cuencas en un avanzado estado de disección. Sin embargo, las estructuras geológicas de la Sierra La Primavera y la Cadena Volcánica del Sur de Guadalajara representan un factor que ha contribuido a la renovación del relieve, esta morfología de estructuras volcánicas que sobresalen sobre las extensas planicies del occidente del país son semejantes a las estructuras de *monadnock* (Strahler, 1952).

Dentro del sistema de cuenca hay elementos sensibles a los cambios en su morfología, el sistema de drenaje es uno de ellos, debido a que son afectados directamente por procesos físicos tales como cambios en su nivel base, factores climáticos o levantamiento tectónico (Burbank y Anderson, 2001; Whipple, 2004).

El orden jerárquico de cauces *Horton-Strahler* resalta la presencia de una cantidad considerable de cauces de tercer orden o mayores. Este índice demuestra que los sistemas de drenaje de la mayoría de las subcuencas convergen en la parte central de la cuenca de El Ahogado (Figura 3C), justo donde se encuentra la presa con el mismo nombre. El cauce principal denominado arroyo El Ahogado transporta una corriente de séptimo orden en la escala de *Horton-Strahler*, y muchos de sus efluentes al unirse al cauce principal, acarrean una corriente del tercer al quinto orden. Destaca el caso de las corrientes provenientes de la Sierra La Primavera y Cadena Volcánica del Sur de Guadalajara, las cuales captan grandes áreas de drenaje que fluyen desde sus partes altas.

El índice SA, representa el poder de erosión de una corriente sobre el lecho del río. Esta erosión es producto de la inclinación del terreno y el área de aporte de una subcuenca. El indicador señala que salvo las laderas de Sierra La Primavera y algunas elevaciones que bordean a la cuenca, existe corrientes con un poder de erosión bajo. Estas se desarrollan en zonas del terreno con baja pendiente (Figura 3D).

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis geomorfológico demuestra que la cuenca de El Ahogado tiene una amplia planicie de deposición con una pendiente somera formada por material pumítico y aluvial proveniente de la Sierra La Primavera. Los resultados de la integral hipsométrica señalan que el estado de rejuvenecimiento del relieve producido por la actividad volcánica representa el 13% del volumen de masa que constituye a la cuenca.

Durante la temporada de lluvias, el agua proveniente de las partes altas de la cuenca desciende con gran rapidez a través de arroyos poco sinuosidad y con pendiente que alcanzan los 30° de inclinación. Estas corrientes pierden rapidez y poder de erosión conforme fluyen por el sistema de drenaje de la planicie hasta llegar a zonas con baja pendiente del terreno donde actualmente se han construido presas o bordos (p.e. El Ahogado, Las Pintas, La Rusia, entre otras). Aunque el poder de una corriente disminuye al aproximarse a estas zonas bajas, el número de

corrientes de orden mayor y el área de aportación incrementa, esto implica que en algunas zonas planas del Valle de Toluquilla, incremente la probabilidad de una rápida acumulación de agua en un periodo de tiempo corto.

El área urbana de Guadalajara durante los últimos 40 años tuvo un crecimiento extraordinario, pero durante el periodo 2000-2010 casi duplica su tamaño (Tabla I). La obstrucción del proceso de infiltración al suelo debido a la pavimentación de estas áreas urbanas reduce la capacidad de recarga del acuífero Toluquilla, y la limitada cantidad de agua de recarga está expuesta a un fuerte deterioro. La reducción del volumen de infiltración natural también favorece el escurrimiento superficial y ayuda a que este se acumule con mayor rapidez en zonas planas.

La disponibilidad de agua del acuífero Toluquilla está destinada en su mayoría para usos consuntivos, los cuales representan el 98% de su volumen total (REPDА-CONAGUA). El indicador de grado de presión sobre el recurso hídrico describe la intensidad del uso del recurso disponible respecto a la extracción total del recurso en la zona. Para la cuenca de El Ahogado, este indicador es mayor al 100%, lo cual refleja un severo déficit de agua subterránea.

El déficit en la disponibilidad del agua subterránea está asociado a la sobre-explotación del recurso, que según el Registro Público de Derechos de Agua (REPDА), el volumen total de agua subterránea concesionado es mayor al disponible. Además, es importante destacar que existen extracciones clandestinas o sitios sin registro que vienen a contribuir en la sobre explotación del acuífero.

Por otra parte, el análisis de la topografía mediante el modelo digital de elevaciones y el modelo de pendientes con resolución espacial de 2 m, exhibe los cambios morfológicos generados por la construcción de infraestructura vial e hidráulica asociada a la extensión del área urbana de Guadalajara (Figura 4).

Entre las modificaciones más importantes ocurridas hasta el año 2001, sobresale la obstrucción de la red de drenaje natural y la alteración de los límites de subcuencas, que impuso la construcción del canal de Atequiza y el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de Guadalajara. El canal transporta agua del Río Santiago y atraviesa desde la sección sureste de la cuenca hacia el centro de la misma, su infraestructura captura el curso natural del escurrimiento proveniente de los sectores oeste y sur de la cuenca, para encauzarlo dentro de su sistema de flujo semi-estacionario. Este canal deja aislada la parte baja de la cuenca e impide el escurrimiento superficial natural hacia la presa de El Ahogado. Otra transformación importante a la morfología del sector norte de la cuenca, lo representa un tramo de la carretera Guadalajara-Chapala, el cual atraviesa e impone un estrechamiento del área de flujo natural de una zona de anegamiento adyacente aguas arriba de la presa Las Pintas.

La contención del escurrimiento en la parte baja de la cuenca ante la presencia del canal de Atequiza y el conjunto de presas determina un conjunto de condiciones ambientales que inciden en el detrimento de los cuerpos de agua superficiales, los cuales están expuestos a fuentes puntuales y difusas de contaminación localizadas a lo largo de los principales arroyos y canales del sistema de drenaje. Estas fuentes de contaminación aportan grandes volúmenes de sedimentos, partículas orgánicas e inorgánicas, nutrientes, plaguicidas, así como descargas municipales en las que se vierten sustancias tales como solventes, combustible, metales pesados, o agentes patógenos.

Las excesivas cantidades de nutrientes en el agua es uno de los factores que provoca la reproducción de plantas y organismos, consecuentemente, habrá una mayor demanda de oxígeno disuelto. Cuando estos organismos mueren se descomponen y producen mal olor y disminuyen la calidad del agua, con lo que la demanda de oxígeno incrementa significativamente. La disminución en la disponibilidad de oxígeno disuelto conduce a procesos de eutrofización de los cuerpos de agua, los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y nitrato.

El monitoreo en cuerpos de agua y arroyos de la cuenca de El Ahogado llevado a cabo por la Comisión Estatal del Agua (CEA), señala la presencia de altas concentraciones de estos nutrientes, particularmente de Fósforo

total, el cual rebasa los límites máximos permisibles establecidos en la Ley Federal de Derechos (concentración máxima permisible: 0.05 mg/L, para el Uso de Protección de vida acuática, agua dulce y humedales). El área de cultivos que se extiende a lo largo de la cuenca representa a un conjunto de fuentes difusas que contribuyen con las altas concentraciones de fósforo total al cauce de los principales arroyos y cuerpos de agua.

El constante crecimiento del AMG incide directamente en la modificación de la topografía, por lo que es necesario considerar la implementación de modelos conceptuales tales como: Presión-Estado-Respuesta (PER) o semejantes, como un punto de partida para evaluar las condiciones de la cuenca y determinar las acciones, planes y programas orientados a reducir el impacto de las modificaciones morfológicas del terreno bajo un esquema de ordenamiento del territorio.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los resultados del presente trabajo derivan del esfuerzo y trabajo de la Unidad de Tecnología Ambiental del CIATEJ y a los recursos provenientes del Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Jalisco, con clave 2011-04-167010.

## 7. REFERENCIAS

- Arias, P. 1982. Consumo y cooperación doméstica de los sectores populares de Guadalajara, Jalisco. CIESAS/Colegio de Michoacán, Nueva Antropología, Año VI, No. 19, p. 168-188.
- Burbank, D.W., Anderson, R. S. 2001, Tectonic Geomorphology: E.U.A., Blackwell Science Ltd, 274 pp.
- Demant y Vincent, 1978. A preliminary report of the comenditic dome and ash flow complex of the Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico; Discusión. Univ. Nac. Autom. México. Inst. Geología, Revista, v. 2, pp. 218-222.
- Demant, A., 1979. Vulcanología y petrología del sector occidental del Eje Neovolcánico. Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geología. Revista vol. 3, núm. 1, p.39-57.
- Díaz-Torres, J. J., Fletcher, J. M., Spelz-Madero, R. M., Martín-Barajas, A., & Suárez-Vidal, F. 2012. Geomorfometría del Escarpe Principal del Golfo de California. Análisis comparativo entre dos segmentos del rift: Sierra San Pedro Mártir y Sierra Juárez, Baja California, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29(3), 590-610.
- Durand, J. Los Obreros del Río Grande. Colegio de Michoacán, 244 p.
- Ferrari, L., Pasquarè, G., Venegas-Salgado, S., & Romero-Rios, F. 2000. Geology of the western Mexican volcanic belt and adjacent Sierra Madre Occidental and Jalisco block. Special Papers-Geological Society of America, 65-84.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., & Rosas-Elguera, J. 2002. Ignimbrite flare-up and deformation in the southern Sierra Madre Occidental, western Mexico: Implications for the late subduction history of the Farallon plate. Tectonics, 21(4), 17-1.
- Finlayson, D., Montgomery, D., Hallet, B. 2002, Spatial coincidence of rapid inferred erosion young metamorphic massifs in the Himalayas: Geological Society of America, 30(3), 219-222.
- Flint, J. J. 1974. Stream gradient as a function of order, magnitude, and discharge. Water Resources Research, 10 (5):969-973.
- Gastil, R.G., and D. Krummenacher, 1978, A Reconnaissance Geologic Map of West-Central Part of the State of Nayarit, Mexico: Geol. Soc. America Map and Chart Series MC-24.

- Hack, J. 1973. Stream-Profile analysis and Stream-Gradient Index. U. S. Geological Survey Journal Research. 1 (4):421-429.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of Geological Society of America. 56:275-370.
- Jiménez-Huerta, E. R., Cruz-Solís H. y Rábago-Anaya, J. 2007. Atlas de la producción de suelo urbano en la Zona Metropolitana de Guadalajara, 1970-2000. Universidad de Guadalajara. <http://148.202.105.12/atlasdesuelodeguadalajara/index.php>
- Keller, E. A. y Pinter, N. 2002. Active tectonics, earthquakes, uplift, and landscape. Prentice Hall, New Jersey, U.S. 338 p.
- Mahood, G., 1977. A summary of the geology and petrology of the Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. Univ. Nac. Autom. México. Inst. Geología, Revista, v. 1, No. 2, pp. 177-190.
- Mahood, G., 1980. Geological evolution of a Pleistocene rhyolitic center: Sierra La Primavera, Mexico. Journal of Volcanology and Geothermal Research. V. 8, p. 199-230.
- Mercado-Pérez, R. 2004. El origen comercial y foráneo de la industria textil y de vestir de Jalisco. Universidad de Guadalajara. <http://sincronia.cucsh.udg.mx/rmercado04.htm> (Última consulta: 01/12/2012)
- Moore, G., Marone, C., Carmichael, I. S. E. and Renne, P., 1994. Basaltic volcanism and extension near the intersection of the Sierra Madre Volcanic Province and the Mexican Volcanic Belt. Geological Society of America Bulletin, v. 106, p. 383-394.
- Nieto-Obregon, J., Delgado-Argote, L., and Damon, P. E., 1985. Geochronologic, petrologic, and structural data related to the large morphologic features between the Sierra Madre Oriental and the Mexican Volcanic Belt, Geofis. Int., v. 24, p. 623-663.
- Rosas-Elguera, J., Ferrari, L., López-Martínez, M. and Urrutia-Fucugauchi, J., 1997. Stratigraphy and tectonics of the Guadalajara region and Triple-Junction Area, Western Mexico, International Geology Review, 39:2, 125-140, 10.1080/00206819709465263
- Rossotti, A., Ferrari, L., López-Martínez, M., & Rosas-Elguera, J. (2002). Geology of the boundary between the Sierra Madre Occidental and the Trans-mexican Volcanic Belt in the Guadalajara region, Western México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, año/vol. 19, número 001 Universidad Nacional Autónoma de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 19(1), 1-15.
- Ruíz Velazco-Castañeda, A. H. 2004. Desigualdad socioespacial y segregación en Guadalajara: Una aproximación a la estructura urbana de la ciudad. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara.
- Strahler, A. N. 1952. Hypsometric (Area-Altitude) analysis of erosional topography. Bulletin of the Geological Society of America, 63:1117-1142.
- Strahler, A. N. 1953. Revisions of Horton's quantitative factors in erosional terrain. Trans. Am. Geophys. Union, 34, 345.
- Urrutia-Fucugauchi J., Alba-Valdivia, L. M., Rosas-Elguera, J., Campos-Enriquez, O., Goguitchaichvili, A., Soler-Arechalde, A. M., Caballero-Miranda, C., Venegas-Salgado, S. y Sánchez-Reyes, S., 2000. Magnetostratigraphy of the volcanic sequence of Rio Grande de Santiago-Sierra La Primavera Region, Jalisco, western Mexico. Geofis. Int., v. 39, núm. 3, pp. 247-265.
- Weber, K. L., Fernandez, L. A., and Simmons, W. B., 1994. Geochemistry and mineralogy of the Eocene-Oligocene volcanic sequence, Southern Sierra Madre Occidental, Juchipila, Zacatecas, Mexico. Geofis. Int., v. 33, p. 77-89.
- Whipple, K.X., 2004, Bedrock rivers and the geomorphology of active orogens: Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 32, 151-185.
- Wobus, C., Whipple, K., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropolou, K., Crosby, B., Sheehan, D., 2006, Tectonics from topography: Procedures, promise and pitfalls, en Willett, S.D., Hovius, N., Brandon, M.T., Fisher, D.M. (eds.),



Tectonics, Climate, and Landscape Evolution: Geological Society of America, Special Paper 398, Penrose Conference Series, 55-74.

Sitios de Internet

[http://estacioniitj.jalisco.gob.mx/app/tienda/aplicaciones/inventario.asp?n\\_arch=carto](http://estacioniitj.jalisco.gob.mx/app/tienda/aplicaciones/inventario.asp?n_arch=carto)

[http://estacioniitj.jalisco.gob.mx/app/tienda/aplicaciones/indices/cartografia/cartografia.asp?id\\_descargar=199](http://estacioniitj.jalisco.gob.mx/app/tienda/aplicaciones/indices/cartografia/cartografia.asp?id_descargar=199)

<http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>

## ANEXOS. TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla I. Crecimiento de el área urbana de Guadalajara en las últimos setenta años.</b>				
<b>Municipios</b>	<b>año</b>	<b>Superficie ocupada (ha)</b>	<b>Superficie ocupada en la cuenca de El ahogado (ha)</b>	<b>Referencia</b>
Guadalajara	1940	2,620		Ruíz Velazco-Castañeda, 2004.
Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá	1960	8,090		Ruíz Velazco-Castañeda, 2004.
Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, El Salto y Tlajomulco de Zúñiga	1972	11,720.08	703.56	Jiménez-Huerta, 2007.
Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, El Salto y Tlajomulco de Zúñiga	2000	46,394.75	13,939.33	Jiménez-Huerta, 2007.
Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, El Salto y Tlajomulco de Zúñiga	2010	59,698.47	21,759.62	INEGI, 2010

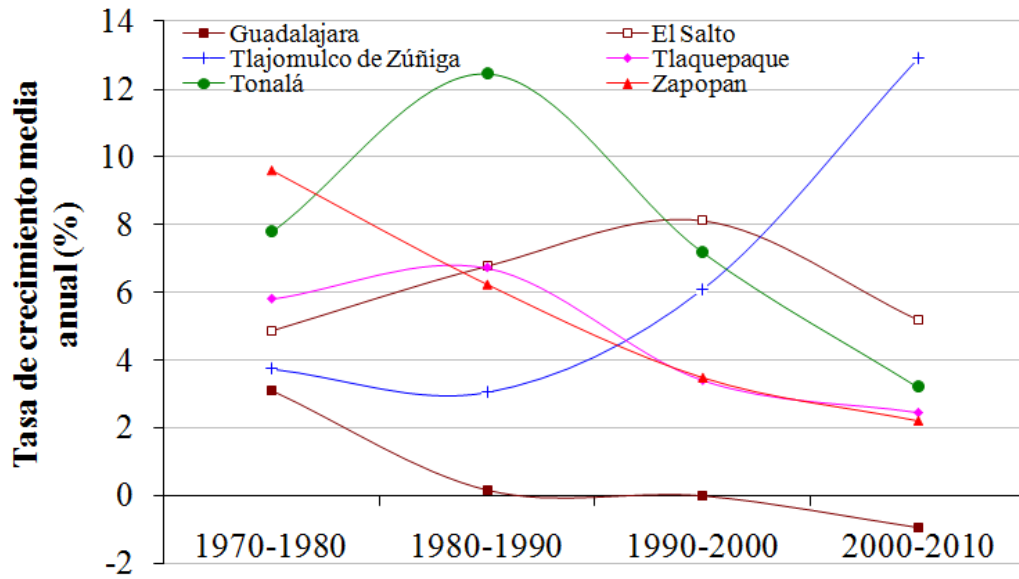


Figura 1. Comportamiento del crecimiento de la población municipal durante las últimas cuatro décadas.

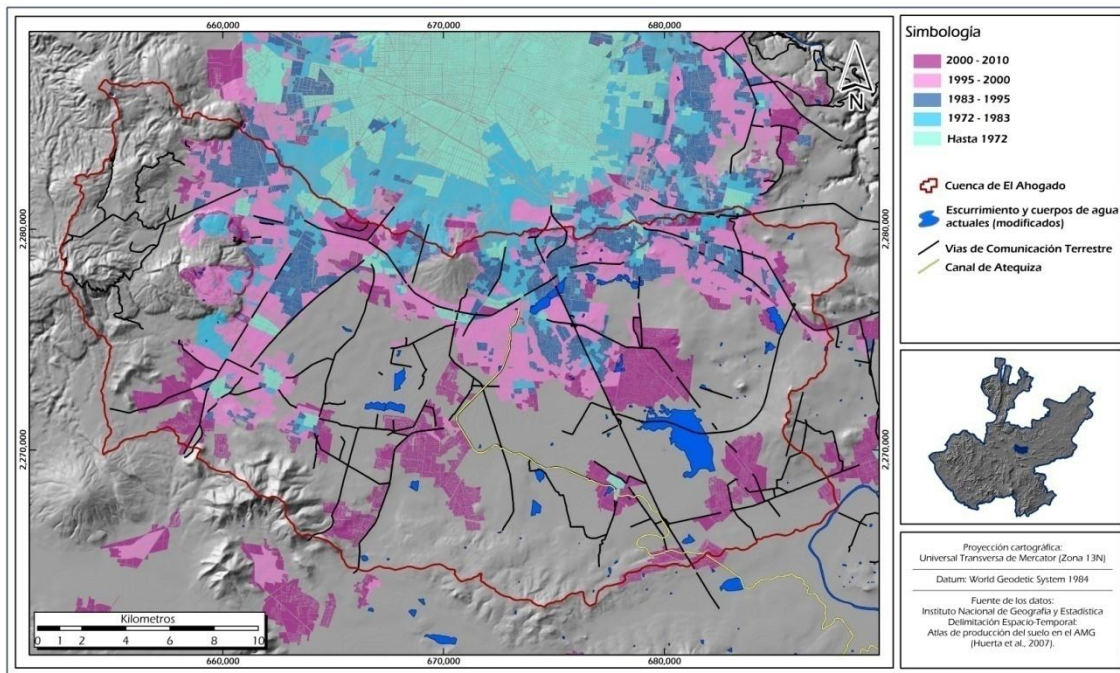


Figura 2. Mapa del crecimiento urbano entre 1972 y 2010

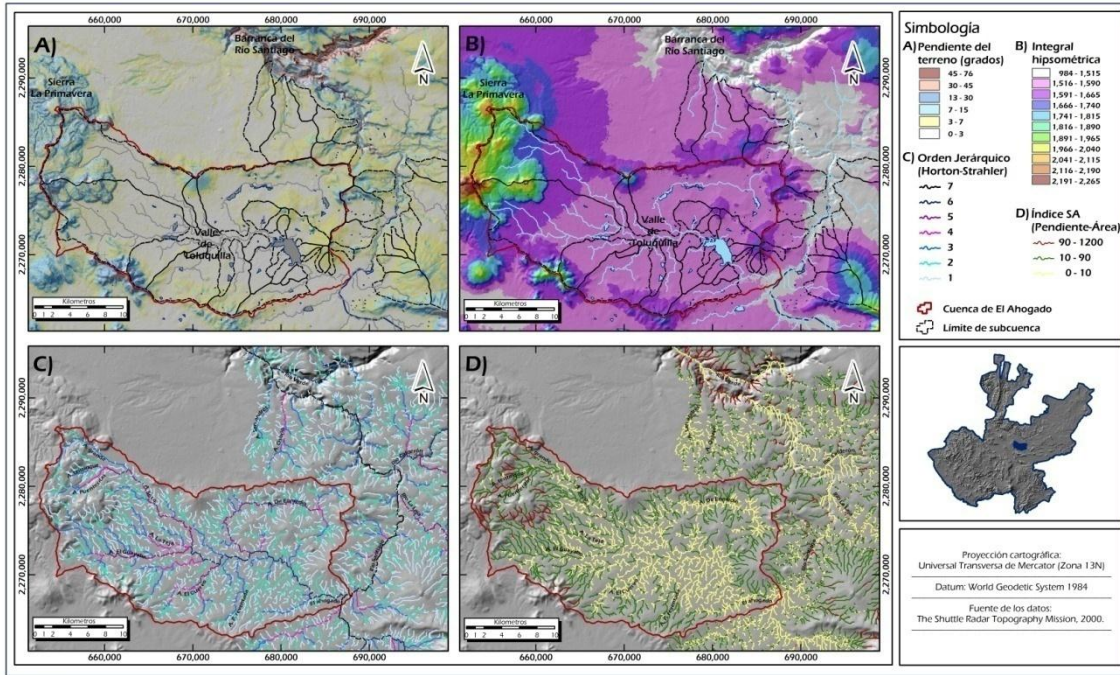


Figura 3. Mapas con los resultados de cuarto índices geomorfológicos de la cuenca de El Ahogado.

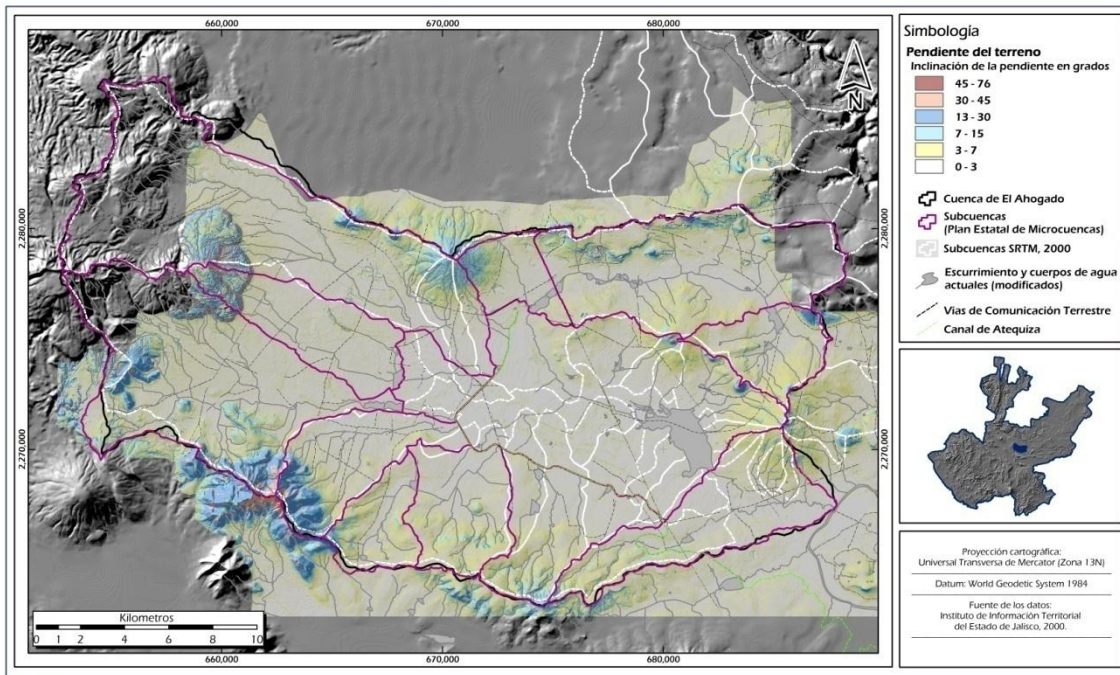


Figura 4. Mapa de pendientes y la delimitación natural de subcuencas vs. delimitación de subcuencas modificada por la infraestructura asociada al crecimiento del área urbana.



# PATRONES ALIMENTICIOS Y PROCESOS SOCIO-ECOLÓGICOS EN LA COMUNIDAD DE XOCOYOLTZINTLA, GUERRERO

MARTINEZ FLORES Gabriela.

Grupo de Estudios Ambientales y Sociales A.C, Licenciatura en Ciencias Ambientales, UNAM,  
Campus Morelia. [gmartinezflor@gmail.com](mailto:gmartinezflor@gmail.com)

## RESUMEN

El consumo de alimentos en comunidades rurales puede ser muy variado, y en ello influyen diversos factores ecológicos, como los tipos de suelos, microclima, disponibilidad de agua, etc. También influyen factores sociales, como el nivel de aislamiento de la comunidad, costumbres, la magnitud de los procesos migratorios y programas gubernamentales que pueden favorecer el consumo de ciertos alimentos. Empero el mantenimiento de la agrobiodiversidad contribuye a diversificar productos y oportunidades de ingreso para los productores, a reducir la dependencia de materiales genéticos foráneos, conservar la estructura de los ecosistemas haciéndolos más estables y sostenibles, además de aumentar el empoderamiento de los campesinos. Por ello, conocer la diversidad de alimentos en las comunidades rurales, las fuentes de las que obtienen éstos alimentos y la cosmovisión que tienen sobre los alimentos locales, puede contribuir a un mejor manejo comunitario los agroecosistemas y mejorar la calidad de vida de las personas. Se muestra un estudio de caso, caracterizando los patrones de alimentación y analizando la importancia económica, cultural y ecológica de la agrobiodiversidad y los recursos forestales locales, de la comunidad de Xocoyoltzintla, Guerrero, en la microcuenca de las Joyas. La dieta depende mayormente de los productos agrícolas locales, por lo que si la agricultura local cambia drásticamente se espera un cambio sustantivo en la calidad de la dieta. Existen presiones económicas que buscan sustituir la milpa tradicional por el cultivo de agrocombustibles, tal cambio puede afectar la calidad de la dieta, la propia salud de la cuenca y vulnerar la soberanía alimentaria.

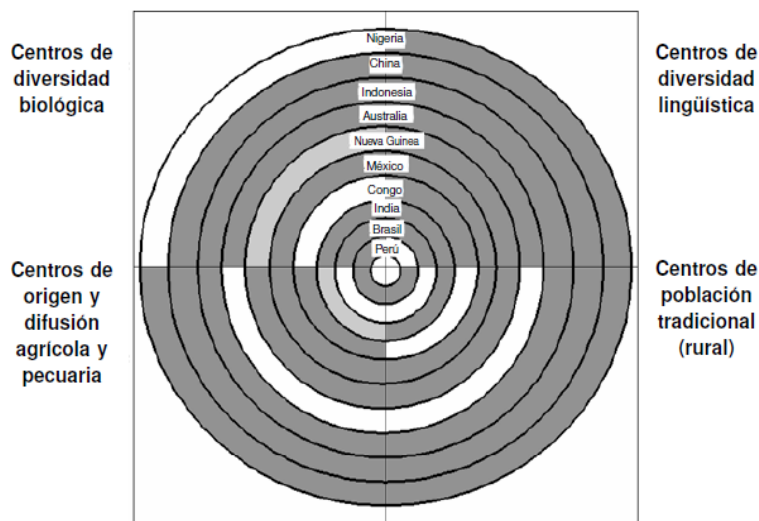
**Palabras clave:** Soberanía alimentaria, problemas socio-ecosistémicos, sistemas complejos, Etnoecología.

## INTRODUCCIÓN

La pérdida de la agrobiodiversidad en el último siglo ha sido alarmante. De acuerdo a datos de la FAO (2007): “Más del 90 % de las variedades de cultivos han desaparecido de los campos en los últimos 100 años y 690 razas de ganado se han extinguido. Considerando que desde los inicios de la agricultura se han recogido, desarrollado, manejado y usado como alimentos, aproximadamente, 7000 especies de plantas y varios miles de especies animales. Hoy, tan sólo 15 especies de cultivos y ocho de animales domésticos representan el 90 % de los requerimientos calóricos de la alimentación mundial”.

En México, actualmente 7 de cada 10 personas tiene sobrepeso (ENSANUT 2012), principalmente debido a un progresivamente mayor consumo de alimentos industrializados, ricos en azúcares, grasas y sodio. En las ciudades tal situación es común desde hace décadas, pero en las comunidades

rurales e indígenas en donde se encuentran nuestro mayor reservorio genético de agrobiodiversidad (Toledo y Barrera Bassols, 2008), ésta es una situación es creciente, alcanzando niveles alarmantes.



Las sombras negra, gris y blanca, indican alta, media y baja presencia de centros.

**Figura 1.-** Los diez países más importantes desde el punto de vista biocultural, definidos por los centros de diversidad biológica, lingüística y agrícola, y la presencia de la población tradicional. Tomando del libro “La memoria biocultural”, Toledo, V. & Barrera Bassols, N. 2008.

Ya que las implicaciones ecológicas que tiene la producción tradicional de alimentos son muy benéficas para el paisaje, citando a Toledo, V. & Barrera Bassols, N. (2008):

“Una estrategia de usos múltiples como la que el productor tradicional o indígena implementa a través de un sistema integrado de prácticas productivas, se expresa en el espacio como un paisaje diversificado, posee varias ventajas desde el punto de vista ecológico. En primera instancia, constituye una respuesta a la heterogeneidad ecogeográfica de los paisajes...Este mosaico productivo permite y favorece, entre otras cosas, las interacciones biológicas, los mecanismos de regulación de las poblaciones de organismos, la estructura trófica y el reciclaje de nutrientes. En otra dimensión, facilita y aun incrementa la diversidad biológica y genética expresada en la riqueza de especies y de variedades vegetales y animales contenida en dicho mosaico. **Por ejemplo, existe mayor variedad de especies de plantas y animales en un fragmento de digamos 1.000 hectáreas convertidas en un mosaico de paisajes (incluyendo parches de la vegetación autóctona), que la misma superficie mantenida bajo la cobertura de vegetación original.** En cierta forma, esta estrategia favorece el acoplamiento entre la actividad del productor y los ciclos naturales (biológicos y físico-químicos), a través del año”

Un ejemplo del patrón de uso múltiple de los recursos lo encontramos en el aprovechamiento de agrobiodiversidad que se produce y recolecta en 7 comunidades de las Joyas, donde en este estudio se documentaron 82 especies de plantas alimenticias, 9 especies de vertebrados comestibles (6

domesticados y 3 silvestres), así como 3 especies de insectos (Martínez, G (2012)). Estudiar, documentar y conservar in situ dichas especies alimenticias es de gran importancia cultural, económica, agrícola y ecológica.

Si bien se ha documentado la importancia de la existencia de la agrobiodiversidad en los sistemas agroforestales (Gliessman, 1998; Altieri, 1995; Altieri y Nicholls, 2000). Es también importante estudiar a la agrobiodiversidad insertada en un contexto mayor, como elemento fundamental dentro de los sistemas alimentarios y estudiar a los sistemas alimentarios no solo a través de ciencias como la agronomía, nutrición o economía, sino también a través de la etnoecología. En términos sociales y ecológicos, es de particular relevancia estudiar los sistemas alimentarios a través del concepto de metabolismo social que han propuesto Toledo y González de Molina (2007) y de los elementos de la etnoecología: El corpus, el cosmos y la praxis (Toledo, 2005). Este estudio utiliza dicho marco conceptual como base para hacer un diagnóstico de un sistema alimentario en una comunidad campesina, utilizando la teoría de los sistemas complejos (García, 1994), entendiendo al sistema alimentario de la comunidad como un sistema complejo en el que los elementos que lo constituyen son interdefinibles, por lo que se requiere la interacción de distintas disciplinas para comprenderlo de manera integral.

Este estudio se realiza en el contexto de una colaboración entre el Programa Integral Regional de Manejo Sustentable de Recursos Naturales y Sistemas Alimentarios (PIR) del Grupo de Estudios Ambientales y Sociales AC y el Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM.

## **OBJETIVO**

Hacer un diagnóstico del metabolismo social del sistema alimentario de la comunidad de Xocoyolintla, con sus flujos bio-metabólicos y socio-metabólicos. Analizar integralmente su territorio en una escala espacio-temporal, contemplando factores ecológicos, sociales, económicos, culturales, agrícolas y la cosmovisión, teniendo como eje el sistema alimentario de una comunidad campesina, caracterizando los patrones de alimentación de la comunidad de Xocoyolintla, qué se come en la comunidad, cuándo se come, por qué tales patrones. Se analizó cuáles son las limitaciones y beneficios del sistema alimentario del ejido de Xocoyolintla, tomando en cuenta que dicha comunidad se encuentra inmersa en una microcuenca conformada por 9 comunidades, las cuales tienen patrones alimenticios similares

## **METODOLOGÍA**

Se trabajó con 12 familias de la comunidad de Xocoyolintla, visitándolas mensualmente en los meses de mayo a septiembre del 2012, interactuando principalmente con las madres de familia. Se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas sobre: patrones alimenticios mensuales, recolección de alimentos, producción de alimentos, compra de alimentos, y preparación de los alimentos. Se realizaron entrevistas a profundidad sobre cosmovisión asociada a la producción agrícola y la alimentación, así como sobre servicios ecosistémicos.

En total se realizaron 31 entrevistas semiestructuradas de patrones alimenticios, 48 entrevistas estructuradas sobre recolección de alimentos, compra de alimentos, preparación de los alimentos y producción de los alimentos, 24 entrevistas a profundidad sobre cosmovisión y servicios ecosistémicos.

## RESULTADOS

Se encontró que si bien el consumo de alimentos industrializados por día es menor, a comparación de los alimentos locales (Figura 2), la cantidad de productos industrializados no es despreciable. Los días en los que se consumieron más alimentos locales fueron los días en los que había mayor disponibilidad de ellos (época de lluvias).

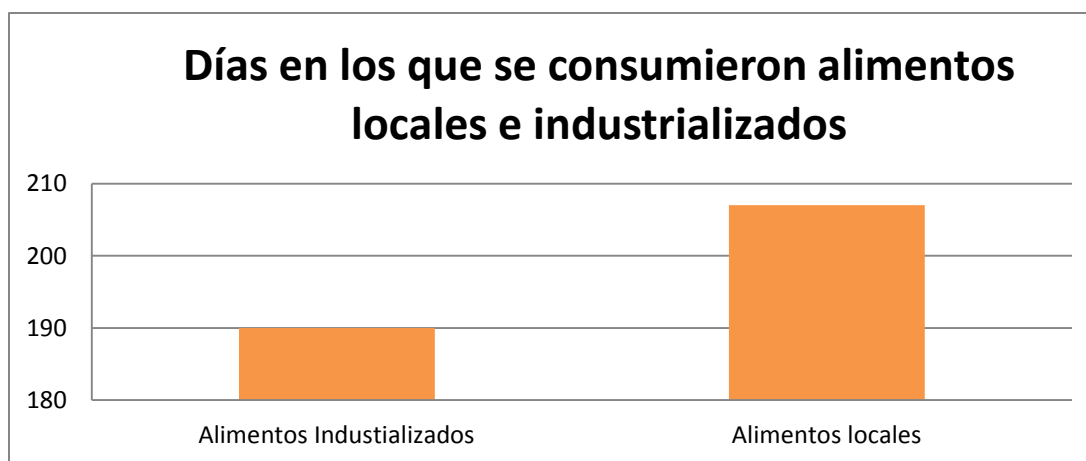


Figura 2.- Días en los que se consumieron alimentos locales e industrializados

La figura 3 muestra el origen de los lugares de donde se obtienen los alimentos de las familias entrevistadas. Se puede observar que un 48% de sus alimentos provienen de fuera de la comunidad, lo cual es alarmante, pues los ingresos de estas familias son escasos y la mayoría de los alimentos foráneos que se consumen son el azúcar, el jitomate saladette, el chile serrano, el pollo de granja, la sopa de pasta, la leche, el arroz, los refrescos y jugos artificiales y el pan. Algunos de estos alimentos pueden ser producidos dentro de la comunidad o sustituidos por otros más sanos, como es el caso de la azúcar refinada por la panela o piloncillo fabricado en la región y una mayor siembra de jitomate criollo y chile nativo.

La pérdida de la soberanía alimentaria dentro de las comunidades no solo lleva a la pérdida de la agrobiodiversidad al dejar de cultivar los alimentos locales, sino también al consumir mayores cantidades de alimentos industrializados que son más rápidos de consumir y más baratos, ya que al venderlos no se cuentan las externalidades de su producción. En palabras de Doña Lorena (una de las madres de familia entrevistadas) “Hay veces que no hay que cenar en la noche y entonces nos echamos unos tacos de mayonesa”. El consumo de dichos alimentos industrializados también produce adicción, como es el caso de la Coca-cola, refresco que además de ser hasta 35% más



barato en las comunidades rurales e indígenas que en otros lugares de México, causa obesidad y diabetes por los elevados contenidos en azúcar. (El Poder del Consumidor, 2012).

La milpa es el segundo lugar en importancia de donde se obtienen los alimentos de las familias de Xocoyolzintla. De los 210 días documentados todas las familias comieron tortillas, en donde aproximadamente un 80% del maíz con el que se prepararon fue maíz criollo cultivado de sus milpas, el restante fue complementado con harina de maíz maseca o compra de maíz en el mercado o los vecinos, además del maíz, los frijoles fueron los más consumidos en los días documentados. Sin bien la base de la alimentación de dichas familias es el frijol y el maíz, la incorporación de alimentos industrializados y bebidas azucaradas son los responsables del sobrepeso en las comunidades. Otro punto muy importante que resaltar es que la mayoría de los de los alimentos foráneos, son alimentos comprados en los mercados locales.

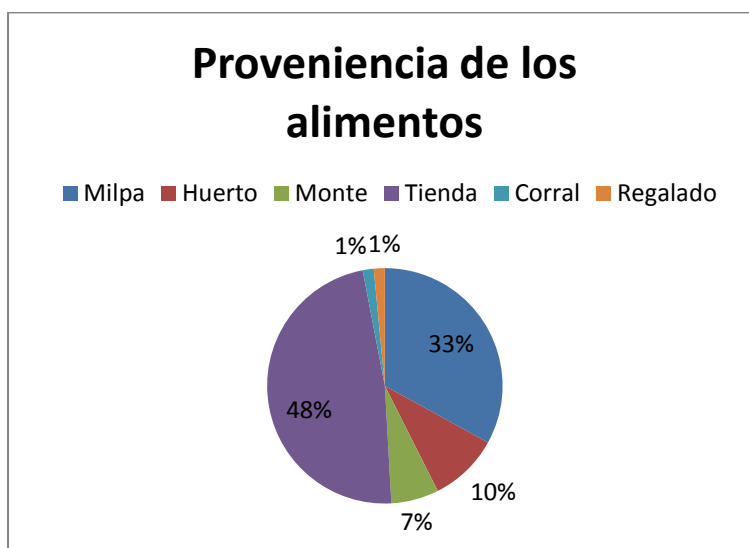


Figura 3.- ¿De dónde se obtienen los alimentos?

En la figura 4 se describe el metabolismo social de la comunidad de Xocoyolzintla, tomando como eje de la descripción el sistema alimentario. En éste se describe a escala internacional, nacional y regional los flujos sociales y ecosistémicos que se dan entre dichas escalas. Dentro de la escala regional, se aborda a detalle el metabolismo social alimentario y la etnoecología del mismo (Corpus, cosmos y praxis).

Dentro del esquema se pueden encontrar los 5 fenómenos principales del metabolismo social, los cuales son básicos para entender el sistema alimentario; éstos son: “El acto de la apropiación (A) constituye, la forma primaria de intercambio entre la sociedad humana y la naturaleza...El proceso de Transformación (T) implica todos aquellos cambios producidos sobre los productos extraídos de la naturaleza, los cuales ya no son consumidos en su forma original... Distribución (D) aparece en el momento en el que las unidades de apropiación dejan de consumir todo lo que producen y de producir todo lo que consumen (Representado por las flechas negras)... En el proceso metabólico del consumo (C) se ve envuelta toda la sociedad, incluidos los distintos tipos de A. Este proceso

metabólico puede ser entendido a partir de la relación que existe entre las necesidades del ser humano, social e históricamente determinados, y los satisfactores proporcionados por medio de los tres primeros procesos (A+T+D). No obstante, en muchas sociedades (sobre todo en sociedades de base energética orgánica) el nivel de consumo ha determinado el esfuerzo de A, T, D (sociedades campesinas, por ejemplo)... El proceso de excreción (E), que es el acto por el cual la sociedad humana arroja materiales y energía hacia la naturaleza (incluyendo sustancias y calor), también se ve envuelta toda la sociedad, incluidos los distintos tipos de A” (Toledo, V. M., & González de Molina Navarro, M. L, 2007).

Asimismo en el esquema de la figura 3, se abordan las relaciones del término agrodiversidad, diferente del agrobiodiversidad. De acuerdo a Brookfield, H., & Stocking, M. (1999), “El término “Agrodiversidad” se refiere a las interacciones entre las prácticas de manejo agrícola, la dotación de recursos de los campesinos, los recursos bio-físicos y las especies.” Identificando todos estos elementos se encuentran flujos en los que existe mayor demanda de recursos naturales para la alimentación. Evidentemente éstos se encuentran en la producción de los alimentos, como en el sistema milpa, pero también en se encuentran en la producción de los alimentos foráneos, que utilizan mayor energía fósil, tanto para su producción como para su distribución. Es por ello que generar estrategias que incentiven un mayor consumo local de alimentos, así como su producción y diversificación ayudan no solo a mejorar la alimentación, sino también a incrementar la agrobiodiversidad, trayendo consigo un mayor aumento de diversidad biológica y por ende mayor salud de los ecosistemas y cuencas.

Por otro lado el estudio del cosmos, corpus y praxis, desde el punto de vista etnoecológico, se significa: “El complejo integrado por el conjunto de creencias (*cosmos*), el sistema de conocimientos (*corpus*) y el conjunto de prácticas productivas (*praxis*), lo que hace posible comprender cabalmente las relaciones que se establecen entre la interpretación o lectura, la imagen o representación y el uso o manejo de la naturaleza y sus procesos.” Toledo, V. M. (2005).

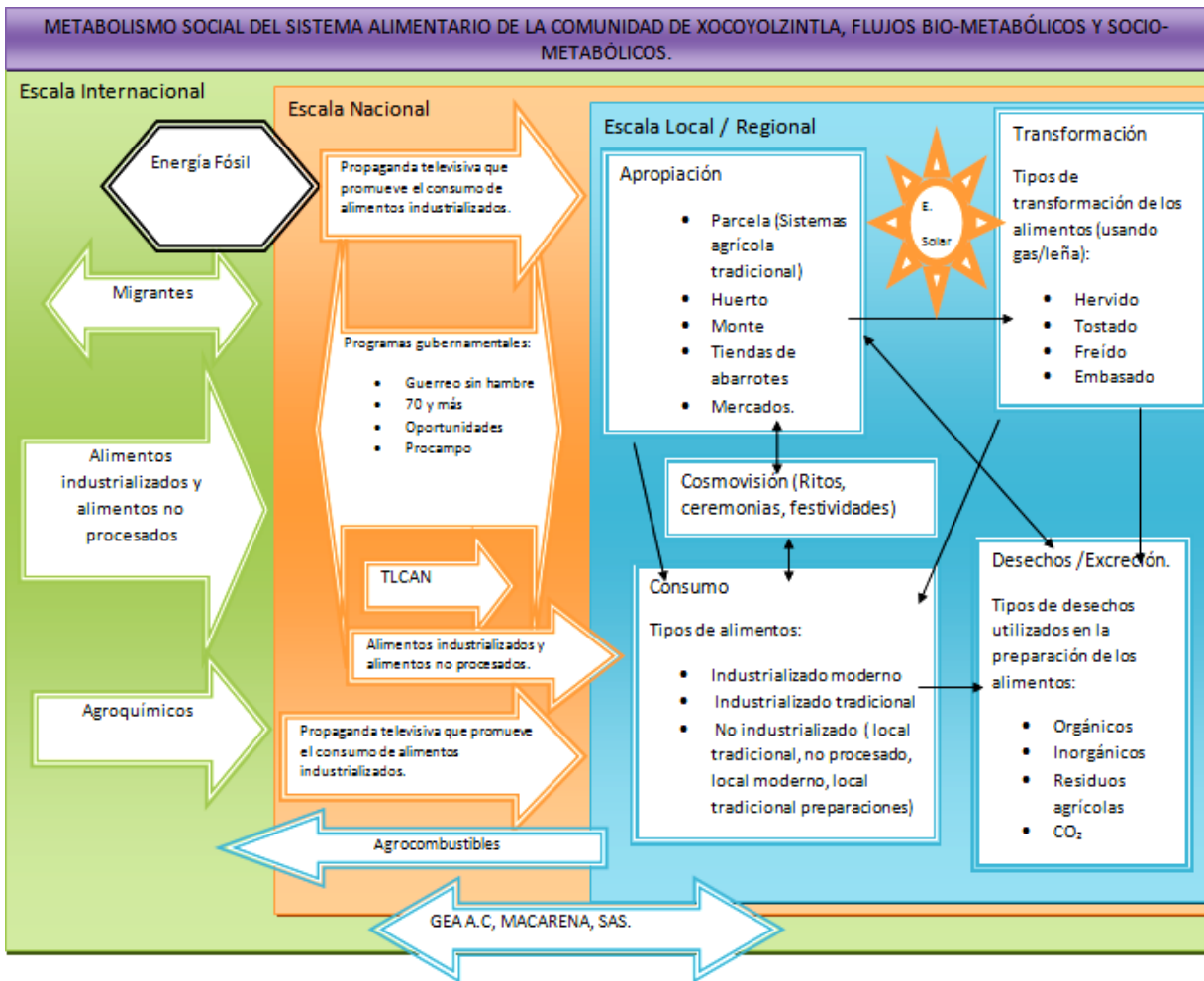
Por otro lado el estudio del cosmos, corpus y praxis, desde el punto de vista etnoecológico hace posible “comprender cabalmente las relaciones que se establecen entre la interpretación o lectura, la imagen o representación y el uso o manejo de la naturaleza y sus procesos.” (Toledo, 2005). Dichos elementos ayudan a saber cuáles son las creencias que pueden llegar a fortalecer el consumo y conservación de la agrobiodiversidad local (cosmos), mientras que el corpus y la praxis nos pueden ayudar a saber qué tipo manejos agrícolas les dan a sus parcelas las familias campesinas, dentro de éste manejo está el de la conservación in situ de la agrobiodiversidad, el tipo de insumos que utilizan para su producción, las técnicas de producción ( praxis) y los conocimientos en torno a la producción y recolección de alimentos locales. De acuerdo con Toledo(2005) describiendo el corpus “El productor tradicional existe un detallado catálogo de conocimientos acerca de la estructura o los elementos de la naturaleza, las relaciones que se establecen entre ellos, los procesos o dinámicas y su potencial utilitario”. A través de documentar todo estos tipos de saberes, usos y manejos campesinos se refuerza el conocimiento de los mismos, se sistematizan y se pueden llegar a crear planes de desarrollo comunitario integrados, que incluya la conservación de la agrobiodiversidad.

Igualmente se incluyen los procesos migratorios de la comunidad, ya que Xocoyolintla tiene un 50% de población migrante, que salen a trabajar como jornaleros, dentro y fuera del país, trayendo consigo nuevas semillas, nuevas formas de alimentación y consumo, y nuevas formas de apreciación de los alimentos locales, en algunos casos benéficas por la sensación de extrañar a la comida de la comunidad y otras más occidentales, por ya no querer comer ciertos tipos de alimentos como los quelites o el pollo de rancho, por considerarlo de mal sabor o de bajo estatus social. También se incluyen los programas de gobierno de origen federal y estatal, que promueven los cambios en los sistemas agrícolas, como es el programa de Guerrero Sin Hambre y Procampo que promueve un tipo de agricultura más convencional, al dar dinero para la compra de agroquímicos o semillas que no son criollas. O programas como Oportunidades que solo dan ayudas monetarias a algunas familias de la comunidad, dinero que se utiliza en su mayoría para comprar comida industrializada.

Otro elemento muy importante dentro de la comunidad, más no perteneciente a ella, es el Grupo de Estudios Ambientales y Social A.C, que a través de su trabajo de empoderamiento y capacitación de las comunidades campesinas, a través del fortalecimiento de los sistemas agroforestales, el consumo de alimentos locales, el cuidado de los montes, el agua, la biodiversidad y la educación no formal comunitaria, muestra un ejemplo de resistencia entre las comunidades, al enarbolar los saberes campesinos ante los conocimientos científicos. Ayudando así a contrarrestar los procesos negativos que se observan ante el cambio de una dieta, un sistema alimentario o una forma de cultivo.

## CONCLUSIONES

Se identificó una tendencia a incrementar el consumo de productos industrializados en la alimentación de las comunidades rurales estudiadas. Es necesario darle seguimiento e identificar sus causas y los procesos que pueden contribuir a contrarrestarlas. Un cambio de dieta viene acompañado con la pérdida de agrobiodiversidad y un cambio dentro de la cultura alimenticia que no solo tiene que ver con el consumo de los alimentos, sino con toda una cosmovisión que le rodea y le sostiene. Estudiar los hábitos alimenticios de las comunidades permite encontrar cambios que por más sencillos que parezcan, viene acompañados de un modelo de producción que no es compatible con un desarrollo comunitario, ni tampoco con el cuidado de los agroecosistemas, ecosistemas y cuencas hidrográficas, más bien que promueven los monocultivos mentales, los cuales de acuerdo con Shiva (1930 cit. en Escobar2011), son: “La separación de naturaleza y cultura; la economía separada de lo social y lo natural; la primacía del conocimiento experto por encima de todo otro saber. Esta forma particular de modernidad tiende a crear monocultivos mentales” Erosionando la cultura y la diversidad biológica, promoviendo así un cambio real dentro de los sistemas de policultivos, convirtiéndolos en monocultivos, llevando a un mayor consumo de alimentos industrializados y la pérdida de una cultura culinaria milenaria. Trabajar en la recuperación de la dieta tradicional mexicana, es de suma importancia para preservar la agrobiodiversidad, la cultura, el cuidado de nuestros ecosistemas, del agua y de la vida misma.



**Figura 4.- METABOLISMO SOCIAL DEL SISTEMA ALIMENTARIO DE LA COMUNIDAD DE XOCOYOLZINTLA, FLUJOS BIO-METABÓLICOS Y SOCIO-METABÓLICOS.** Elaboración propia.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco de corazón el apoyo brindando por el Grupo de Estudio Ambientales y Sociales A.C, en especial a Catarina Illsley por su apoyo para poder tener contacto con las comunidades que trabajé y con los demás compañeros del grupo GEA, a mi asesor de tesis Alejandro Casas Fernández por su apoyo y a todas las familias de la comunidad de Xocoyolzintla involucradas en este aprendizaje tan rico y valioso.

## REFERENCIAS

- Castro, G., Lozano, A., Fernández, G., Ronca, F., Rodríguez, D. 2005. Conservación, A. P., & Conservation, A. P. (2005). Agrobiodiversidad y pobreza. *Archivos de zootecnia*, 54(206-207), 205-209.
- FAO. 2007. *Estado mundial de los recursos genéticos animales para la alimentación y la agricultura*. Roma.
- Instituto Nacional de Salud Pública. 2012. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, Resultados Nacionales: <http://ensanut.insp.mx/informes/ENSANUT2012ResultadosNacionales.pdf>
- Toledo, V. M., & Bassols, N. B. (2008). *La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales* (Vol. 3). Icaria Editorial.
- Martinez, F, G. 2012. Alimentación en algunas comunidades de las Joyas, del municipio de Ahuacotzingo, Guerrero.
- Gliessman, S. R. 1998. *Agroecology: ecological processes in Sustainable Agriculture*. Ann Arbor Press, Ann Arbor, MI.
- Altieri, M.A. 1995 *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Westview Press, Boulder, CO
- Altieri, M., & Nicholls, C. I. (2000). Teoría y práctica para una agricultura sustentable. *Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. PNUMA. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México*, 235.
- Toledo, V. M., & González de Molina Navarro, M. L. (2007). El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. In *El paradigma ecológico en las ciencias sociales* (pp. 85-112). Icaria.
- Toledo, V. M. (2005). La memoria tradicional: la importancia agroecológica de los saberes locales. *LEISA Revista de Agroecología*, 20(4), 16-19.
- García, R. (1994). Interdisciplinariedad y sistemas complejos. In *Ciencias sociales y formación ambiental* (pp. 85-124). Gedisa.
- El Poder del Consumidor. 2012. Video: "La Coca-Colización" de México:  
[http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=cH5SeWZCEqU#!](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=cH5SeWZCEqU#!)
- Brookfield, H., & Stocking, M. (1999). Agrodiversity: definition, description and design. *Global Environmental Change*, 9(2), 77-80.
- Escobar, A. (2011). Una minga para el posdesarrollo. *Signo y Pensamiento*, 30(58), 278-284.



# ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL MERCURIO EN CULTIVOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN LA MICROCUENCA SAN JOAQUÍN

Liliana Jazmín SÁNCHEZ FUENTES<sup>a</sup>, Juan CAMPOS GUILLEN<sup>b</sup> y Gilberto HERNÁNDEZ SILVA<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Querétaro, email: jazmin\_135@hotmail.com

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Querétaro, email: camposj78@hotmail.com

<sup>c</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, email: ghsilva38@hotmail.com

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo cuantificar la presencia de mercurio total en suelos de cultivo y conocer si existe un efecto de acumulación de este elemento, en frutos de importancia económica localizados dentro de la microcuenca San Joaquín. La metodología empleada, consistió en colectas de 12 sitios de muestreo, en cada muestra de suelo se midió su pH, analizó su textura por el método de Bouyoucos y, la cuantificación de mercurio total tanto en suelos y frutos, se realizó mediante el protocolo de la NOM-117-SSA1-1994 (SS, 1995). Los resultados mostraron suelos con un pH entre 6.5 y 8.0, con una textura arcillo-limosa predominante y con concentraciones de mercurio total que va desde 115.2 mg/kg hasta 133.8 mg/kg sobrepasando cinco veces el límite permitido para suelos de cultivo postulado en la norma NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. En el caso de frutos, los niveles permitidos rebasan el límite para el consumo humano. De acuerdo con otros autores la predominancia de arcilla, así como la presencia de un pH entre 4 y 5 en suelos, provoca que el mercurio sea biodisponible para las plantas. Por lo tanto, este estudio demuestra como el mercurio, como elemento bioacumulable, puede concentrarse en el suelo de cultivo y en los frutos, aún cuando éstos, se localicen lejos de una mina.

**Palabras clave:** Microcuenca San Joaquín, mercurio, suelo de cultivos, frutos

## 1 INTRODUCCIÓN

San Joaquín, Querétaro se ha considerado una zona importante en producción de mercurio, sus inicios en la minería datan desde tiempos prehispánicos, evidenciándose por la presencia de tiros y socavones, atribuidos a la cultura serrana que fundó el asentamiento de Ranas. El mineral de mercurio explotado era el azogue (mercurio nativo) y el cinabrio (Sulfuro de mercurio), este último utilizado como pigmento y como ofrenda funeraria en la región del clásico maya (Cuapio *et al.*, 2004; Langenscheidt, 2006).

El auge minero de San Joaquín fue durante 1954 y 1976, donde, a pesar de las condiciones insalubres en las que laboraban los mineros, semanalmente en la zona se produjeron hasta 3.9 toneladas de mercurio, lo que permitió que México alcanzara el cuarto lugar como productor. No obstante, a finales de los años 70's, la producción de mercurio decae debido a la baja del precio, provocado por las características tóxicas del elemento (Cuapio *et al.*, 2004; Langenscheidt, 2006).

Como consecuencia, las minas fueron abandonadas y, cerca de ellas, los habitantes establecieron parcelas de cultivo, como búsqueda de una actividad económica redituable alterna a la minería. A la fecha, el cultivo de manzana y aguacate es una de las principales fuentes generadora de ingresos para los habitantes de San Joaquín (SEDEA, 2011).

Sin embargo, el mercurio sigue presente en el ambiente a pesar del abandono de la minería, debido a que presenta una tendencia cíclica, propia de un metal pesado, implicando que el elemento se mantenga en el medioambiente transformándose mediante procesos físicos y químicos como la disolución, precipitación, volatilización, biosíntesis y la degradación. Estos procesos le confieren un rango de peligrosidad a los metales pesados, pues al no poder degradarse, se corre el riesgo de bioacumularse en los seres vivos. El mercurio comprende un ciclo global donde interactúan la atmósfera, la superficie terrestre, el medio acuático y la biota. En cada una de las fases del ciclo, el mercurio sufre cambios en su estructura elemental pero no se degrada (Martínez et al., 2009).

Este ciclo refiere importancia, pues lleva implícito el transporte del elemento, mediante la presencia de corrientes de aire y flujos de agua, aunado a esto, la movilización del mercurio adquiere relevancia cuando, su fuente de origen se localiza dentro de una cuenca, pues la estructura y función de la misma, hace que el transporte y flujo de sedimentos (posiblemente contaminados por mercurio), se distribuyan por las partes funcionales, confiriéndole así, un rango de desplazamiento mayor que puede alcanzar zonas alejadas de las minas y lugar que el elemento se deposite en aéreas urbanas y agrícolas.

La peligrosidad que representa el mercurio ante los seres vivos, se origina por el consumo y el contacto constante con el elemento. Antecedentes registrados sobre la exposición prolongada al mercurio y los efectos en la salud humana, mencionan que, las personas presentan intoxicaciones agudas y graves, de las cuales se mencionan síntomas como tos, diarrea, vomito, temblor en las extremidades y pérdida de la memoria; enfermedades como bronquitis, edema pulmonar, gingivitis, daños severos en el sistema nervioso central y por último la muerte (Gutiérrez *et al.*, 2006).

Dichos efectos a la salud, se manifestaron en ciertos habitantes de San Joaquín, sobre todo en trabajadores de las minas, donde la constante exposición al mercurio deterioró su salud a causa de las altas concentraciones de este elemento en su organismo. Torres (1977) analizó el cabello de una población de mineros con la finalidad de cuantificar el contenido de mercurio en su sistema. En condiciones “normales”, es decir, una persona no expuesta al elemento, presenta entre 0.30 a 2 ppm en su organismo, sin embargo, los mineros mostraban entre 0.96 ppm hasta 48.85 ppm, este abismo en cuanto a la cantidad del mercurio en el sistema de los trabajadores, tiene relación con el tiempo laborado en la mina y la capacidad del cuerpo en desechar parte del metal pesado, así mismo, los efectos causados por las altas concentraciones quedaron en evidencia entre la población minera pues presentaban casos severos de gingivitis y problemas respiratorios.

Lo anterior queda como antecedente causado por el auge minero en San Joaquín, no obstante, en la actualidad a pesar del cese de la minería y al abandono de las minas, el mercurio aún está presente en el ambiente a causa de su ciclo. Estudios realizados en últimas fechas sobre suelos cercanos a las minas y jales abandonados revelan que aún existe la presencia de mercurio y en algunos casos, las concentraciones del elemento están por encima del límite permisible dado por las



normas oficiales mexicanas. Trabajos como los de Hernández *et al.* (2009) y Huerta (2010) aseveran esta problemática, donde análisis en suelos y jales mineros presentan altos contenidos de mercurio.

Hernández *et al.* (2009), menciona que de los muestreos y análisis realizados en suelos de San Joaquín, aquellos que presentan una mayor concentración del metal pesado son los localizados cerca de las zonas arqueológicas (excluyendo los jales mineros), dado por la explotación del cinabrio desde tiempos prehispánicos, afirmando de esta manera el uso y la importancia del elemento en esa época. Este estudio fue proseguido por Huerta (2010), donde el análisis se basó en estudios físico-químicos del suelo cercanos a minas, además de la cuantificación del mercurio, en los resultados que obtuvo, se aprecia claramente cómo la presencia de materia orgánica y la textura del suelo predominante en arcillas, le confiere capacidad al suelo para retener mayor cantidad de mercurio, dando concentraciones de 0.5 mg/kg a 4164.0 mg/kg, alcanzando un estatus de suelos contaminados, a causa de la presencia de niveles superiores a los permisibles por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

Por otra parte, se ha analizado la concentración de mercurio en alimentos de origen animal y vegetal en San Joaquín y otras zonas mineras, los resultados arrojados muestran la presencia del elemento en plantas y en vísceras de los animales que habitan y que son consumidos en esa región, los niveles encontrados son superiores a los permitidos por la OMS/FAO para alimentos en general. Una de las causas de la contaminación de estos alimentos por el metal pesado se deriva de que los cultivos son irrigados con agua proveniente de minas de mercurio y para el caso de los animales la situación es dada, por el lugar donde pastan y este probablemente es cercano a las minas (Bautista y Hernández, 1995).

Solís *et al.* (2009) realizó un estudio similar al anterior analizando especies vegetales de consumo humano, el maíz y frijol. A su vez, trató de comparar si el suelo donde se siembra tiene relación con la presencia de mercurio en la planta, lo que observó fue que el suelo puede contener o no altos niveles del metal pesado, pero la planta puede absorber el mercurio mediante otras vías como el agua con la que es regada o por medio de la atmósfera, así que los resultados mostraban suelos con alta concentración de mercurio, las raíces de las plantas cultivadas con una cantidad mínima y, una presencia considerable del elemento en tallos y granos. Por lo cual, enfatiza en el ciclo y la movilización del mercurio en el ambiente y donde éste puede depositarse sobre los vegetales provocando la entrada del metal pesado a la cadena trófica y con posibilidad de causar daños a la salud.

A pesar de los trabajos realizados en el municipio de San Joaquín, son escasos los que integran y basan sus estudios dentro de una cuenca, investigaciones como las descritas anteriormente y realizadas por Hernández *et al.* (2009) y Solís *et al.* (2009) se desarrollaron dentro de una subcuenca cercana a la microcuenca San Joaquín, sin embargo esta microcuenca poco ha sido estudiada en su totalidad con referencia a la presencia del mercurio y sobre todo no se ha analizado la concentración en los frutos de importancia comercial, pues si bien los alimentos que se han analizado son destinados al autoconsumo.

## **2 OBJETIVO**

Debido a lo anteriormente descrito, el presente trabajo tiene por objetivo analizar cuantitativamente la presencia de mercurio en suelos de cultivo que se localizan dentro de la microcuenca San Joaquín, además de conocer si existe la presencia de este elemento en los frutos cultivados y cosechados que tienen importancia económica para el municipio.

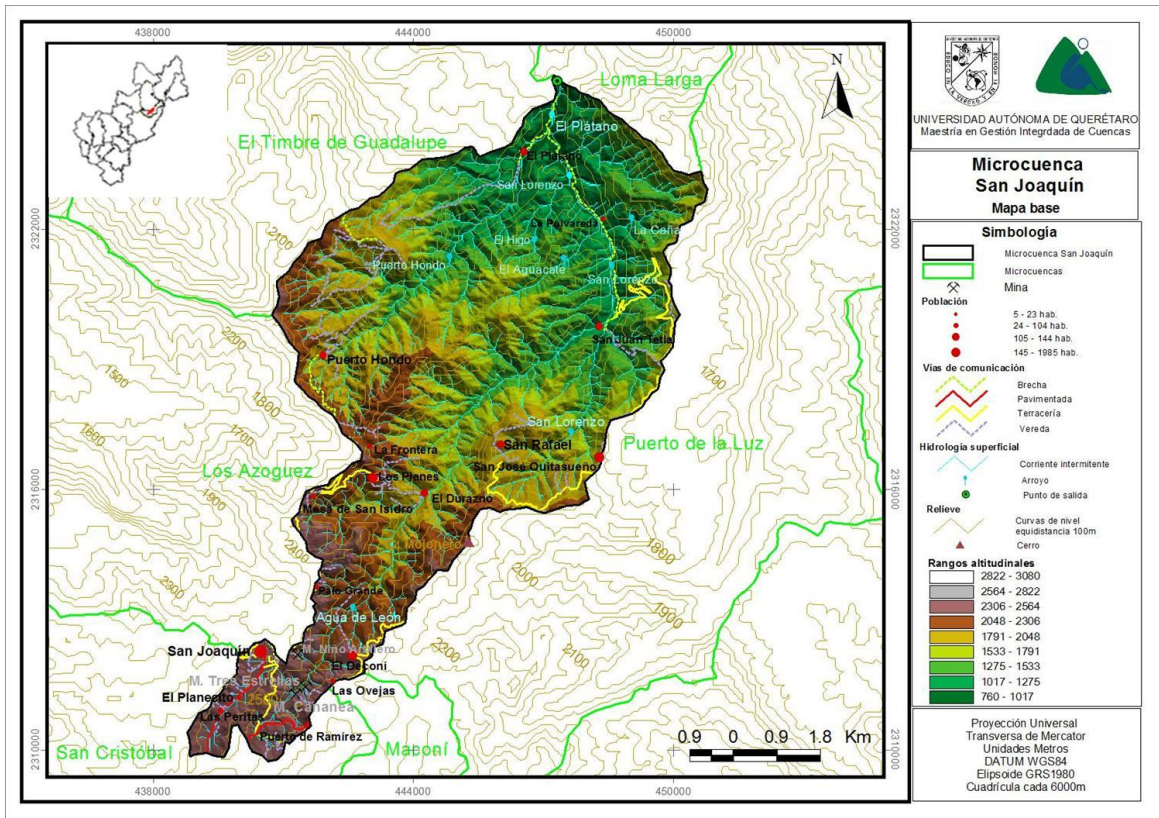
## **3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La Microcuenca San Joaquín se localiza dentro de la Sierra Gorda del Estado de Querétaro, cuenta con una superficie de 64.67 km<sup>2</sup>, de las cuales el 85.2% pertenece al municipio de San Joaquín y el 14.7% a Pinal de Amoles. Sus coordenadas en UTM son: 2324807.95 N, 2310689.88 S, 450333.46 E y 439612.96 O, presenta elevaciones de 859.7msnm. a 2580msnm., es de tipo exorreica, donde la mayor parte de los cauces son de tipo intermitente, es decir, solo llevan agua durante la temporada de lluvia y drenan su flujo al Río Extoraz (Figura1).

Con respecto a su población, cuenta con 17 localidades y un total de 2,923 habitantes. Siendo la cabecera municipal de San Joaquín, la que concentra a 1,985 habitantes, que cuentan con acceso a los servicios de salud y escuela, además, de ser la única con ámbito urbano, pues las demás localidades presentan un grado de marginación medio, alto y muy alto y de ámbito rural (INEGI, 2010).

La Geología presente se caracteriza por rocas sedimentarias como Calizas y Lutitas, además de la presencia de vetas de mercurio y plata, que en años anteriores provocaron la apertura de 15 minas dentro de la microcuenca. Los suelos predominantes son Luvisoles y Rendzinas, los primeros se distinguen por la cantidad elevada de arcilla, destinándolos por lo general a la agricultura. Los segundos se reconocen por ser suelos pedregosos, fértiles y de clima árido, presentes en la parte donde la microcuenca tiene su punto de salida (INEGI 2004). En cuanto al clima, este varía dependiendo de las zonas, en la parte alta de la microcuenca el clima es templado con temperaturas entre 12° y 18°C, mientras que en la parte baja es semicálido y con temperatura mayor a 18°C (Köppen modificada por García, 2004).

El uso de suelo y vegetación comprende desde bosque de pino –encino, bosque de encino, matorral inerme y hasta matorral subinerme y, en algunas zonas de la microcuenca este tipo de vegetación ha sido perturbada o eliminada, para dar lugar a zonas urbanas y a lugres destinados a la agricultura de temporal y la fruticultura, donde actualmente estas actividades ocupan un 16% del territorio de la microcuenca, encontrando diversos cultivos como: maíz, frijol, durazno, pera, cítricos y algunos de importancia económica para la región, como la manzana de la cual, anualmente se cosechan 1, 054 toneladas (SEDEA, 2011).



**Figura 1.** Mapa de la Microcuenca San Joaquín. Se muestran los cauces y el punto de salida, así como la topografía de la zona. Fuente: Elaboración propia

Esta breve descripción deja ver que la microcuenca San Joaquín cuenta con suelos aptos para desarrollar actividades agrícolas, pero también se debe reconocer el riesgo potencial que las zonas mineras se distribuyan por la microcuenca y que a su vez, puedan representar un foco de dispersión del elemento. A continuación se mencionan los métodos empleados para la realización del estudio.

## 4 MÉTODOS

### 4.1 RECONOCIMIENTO EN CAMPO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Previo al recorrido en la zona, se llevo a cabo una plática con el encargado de Obras Públicas del Municipio de San Joaquín con la finalidad de conocer los límites naturales, se realizó un recorrido por la parte alta de la microcuenca San Joaquín y se procedió a realizar los mapas necesarios para la caracterización de la microcuenca, utilizando el programa de Arc View GIS 3.2 y capas de curvas de nivel, de uso de suelo y vegetación, de clima, de isotermas, de isoyetas, de edafología, de geología y de toponimias en escala 1:50,000; procedentes del Laboratorio de Geomática perteneciente a la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro y al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

## **4.2 LOCALIZACIÓN DE LOS CULTIVOS**

Se entrevistó a los encargados de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario en especial con el responsable del área agrícola y frutícola, para determinar cuáles son los cultivos dominantes dentro de la microcuenca San Joaquín, posteriormente, se realizaron visitas de coleta en los sitios elegidos y con la ayuda del GPS se georeferenciaron.

Los sitios donde se realizó la colecta fueron en las localidades de El Deconí, San Joaquín, El Planecito y San Rafael. Fuera de la Microcuenca se colectó en la localidad de Agua de Venado y Los Hernández a manera de tener una muestra comparativa.

## **4.3 COLECTA DE SUELO**

Se realizó un recorrido en zig-zag dentro de cada una de las parcelas, con el fin de obtener muestras simples y por el método de cuarteo, homogeneizarlas hasta encontrar la cantidad requerida (Osorio, 2012).

Se colectó 1kg. de suelo de cada una de las parcelas muestreadas, el suelo se colectó a una profundidad de 20 a 25 cm. que es la medida usada para suelos agrícolas con posibilidad de contaminación por metales pesados, esto con base a los métodos de Volke, *et al.* (2005) y Larenas (2010). La muestra se colocó en una bolsa de papel estraza hasta su análisis en el laboratorio.

## **4.4 COLECTA DE FRUTOS**

La muestra de fruto proveniente del cultivo se colectó realizando el mismo recorrido en zig-zag dentro de cada una de las parcelas a muestrear, en este caso se vigiló y procuró una colecta con frutos de buena calidad a la vista, es decir, se colectaron solo frutos maduros, sin presencia de hongos, insectos, picaduras y magulladuras. Cada fruto colectado fue desprendido de la parte media de la copa del árbol, lo cual asegura la preservación y frescura del fruto por una cantidad mayor de tiempo. Las muestras colectadas de cada parcela se homogenizaron, obteniendo al final una muestra completa con una cantidad de 6 a 8 piezas o 1kg. de peso.

Posteriormente, los frutos fueron colocados en una bolsa de plástico y dentro de una hielera hasta su llegada al laboratorio, ya en el sitio las muestras previamente etiquetadas fueron depositadas dentro de un congelador marca REVCO a - 80°C hasta el momento de su análisis.

## **4.5 TRABAJO DE LABORATORIO**

En el caso del suelo se analizó el pH, se determinó el color y la textura y se cuantificó el Mercurio total. Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio Calaguas perteneciente a la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro y en el Centro de Ciencias

de la Atmosfera de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los respectivos métodos se describen a continuación:

#### **4.5.1 Análisis de pH**

Para analizar el pH, se tomó una muestra de suelo y se pesó 1 gramo en una balanza analítica marca OHAUS, posteriormente se agregó 10ml. de agua destilada y se agitó la muestra durante cinco minutos, se dejó reposar cinco minutos más y se procedió a tomar la lectura con el Potenciómetro Marca ORION S STAR. Entre cada lectura el electrodo era enjugado con agua destilada para asegurar que la lectura dada por el aparato fuera la correcta.

#### **4.5.2 Determinación de la Textura del suelo**

Se llevo a cabo conforme al método de Bouyoucos (1962), en el cual se utilizó suelo tamizado finamente, por un tamiz de 170 mallas, posteriormente se pesó 40gr del suelo en un balanza analítica marca OHAUS, se agregó 100ml. de agua destilada más 10ml. de hexametafosfato de sodio y se agitó la mezcla durante 5 minutos a mano y 5 minutos más en una mezcladora, en seguida se colocó la mezcla en una probeta de 1000ml. y se aforó con agua destilada.

A continuación, la muestra se agitó durante 10 minutos y después se dejó reposar 40 segundos y se introdujo el Hidrómetro, en ese momento, se tomó la primera lectura de que marcó el Hidrómetro y se tomó la temperatura. Se dejó reposar la muestra durante 2 horas y se procedió a tomar la segunda lectura y posteriormente se obtuvo el tipo de textura para cada suelo.

#### **4.5.3 Cuantificación de Mercurio Total**

La cuantificación de Mercurio total presente en suelos, se llevó a cabo mediante el protocolo dado por la NOM-117-SSA1-1994 (SS, 1995), que establece el Método de cuantificación de Mercurio por Espectrometría de Absorción Atómica. El procedimiento fue el siguiente:

##### **4.5.3.1 Suelo**

Se dejó secar a temperatura ambiente, posteriormente se tamizó a 170 mallas y se pesó 0.5 gramos en una balanza analítica para llevar a cabo la digestión de la muestra, los 0.5gr de suelo se colocaron en tubos de teflón especiales para el microondas que lleva a cabo la digestión de la muestra, se añaden 10ml. de ácido nítrico concentrado ( $\text{HNO}_3$ ). Las muestras se dejaron en  $\text{HNO}_3$  durante toda la noche y al día siguiente se colocaron los tubos en el microondas marca CEM modelo MASR 5, se programo la digestión de la muestra durante 20 minutos y con una curva de temperatura que llega hasta  $180^\circ\text{C}$  y se mantiene así durante 10 minutos a 250 PSI.

Posteriormente se dejaron enfriar de 3 a 5 horas y la muestra se colocó en matraces de 50ml., se realizaron tres lavados al tubo con los residuos y se vaciaron al matraz y posteriormente se aforó con agua desionizada. La muestra se colocó en recipientes de plástico para su preservación y posteriormente fueron leídas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

##### **4.5.3.1 Frutos**

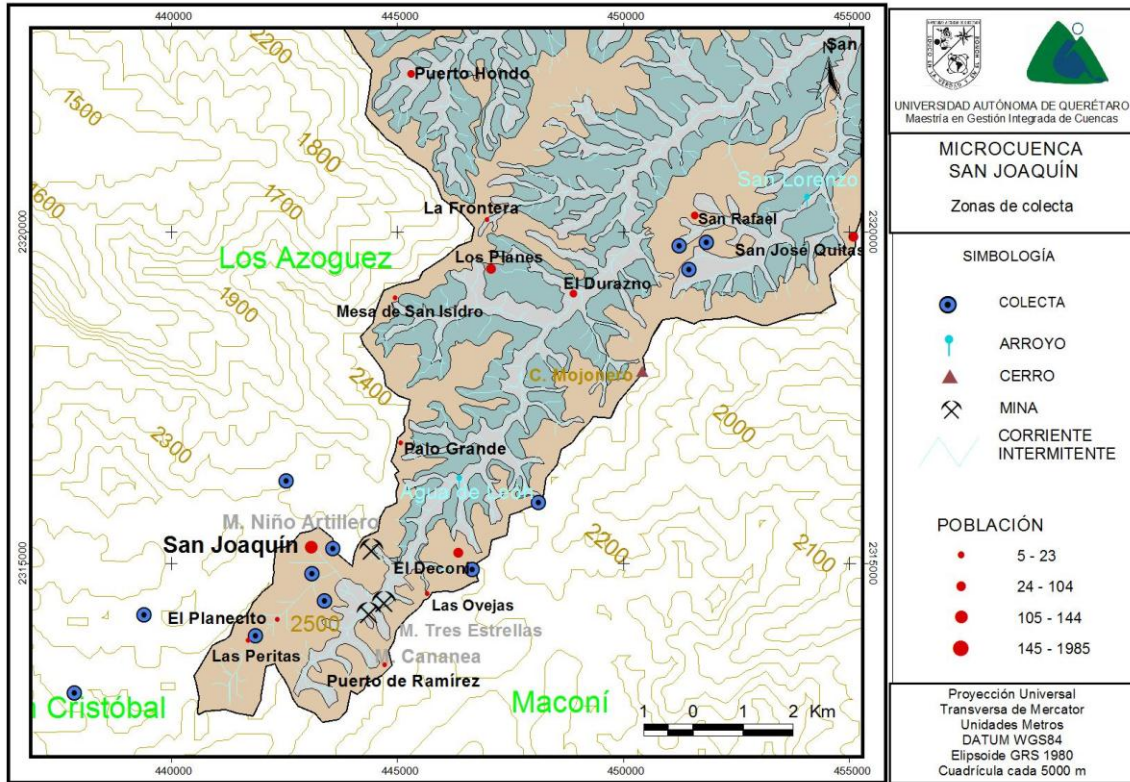
Los frutos colectados fueron manzanas de la variedad Red Delicious y Golden Delicious, se elige la manzana por ser un producto, destinado a la venta en mercados ubicados dentro y fuera del estado y por lo tanto, adquiere importancia económica entre los habitantes de la microcuenca.

## 5 RESULTADOS

Se colectó en 12 sitios de los cuales los puntos de colecta 4, 5 y 6 corresponden a lugares fuera de la Microcuenca San Joaquín, se realizaron fuera como puntos control y para corroborar si tanto fuera como dentro de la Microcuenca existe presencia de mercurio. Con base al muestreo se procedió a realizar un mapa usando Arc View GIS 3.2 y sobre la delimitación de la Microcuenca se trasladaron los puntos de colecta y las minas (Figura 2) con la finalidad de conocer la cercanía de las minas a los cultivos.

El análisis de pH realizado en el laboratorio a los suelos de cultivo, mostró que están en un pH de 6.29 como mínimo y el máximo de 8.89, lo que significa que en su mayoría los suelos son de tipo ligeramente ácido a moderadamente alcalino de acuerdo a Siebe *et al.* (2006) (Tabla 1).

La textura en el suelo obtenida de los análisis previos arrojó un resultado donde seis de los doce suelos presenta una textura Arcillo – Limosa, lo que refiere al tipo de textura predominante, después la textura Arcillosa y la Franco – Arcillo – Limosa se presentan en 2 suelos cada uno y la menos frecuente es la textura Franca y la Franca – Arcillosa la cual solo se presentó una vez (Tabla 1).



**Figura 2.** Mapa con los 12 puntos de colecta y las minas cercanas a estas zonas, el color café representa la parte alta, el color azul a la parte media y el color gris a la parte baja de la microcuenca. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 1.** Muestra los resultados de los análisis en laboratorio realizados en el suelo. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Ubicación	pH	Textura	Mercurio total en suelo (mg/Kg)
1	El Deconí	6.89	Arcillo – Limosa (RL)	> 100
2	El Deconí	8.84	Arcillo – Limosa (RL)	> 100
3	San Joaquín	7.52	Arcillo – Limosa (RL)	> 100
4	Agua de Venado	6.97	Arcillo – Limosa (RL)	> 100
5	Los Hernández	8.27	Franco – Arcillosa (CR)	> 100
6	Los Hernández	6.29	Arcillosa (R)	> 100
7	EL Planecito	8.45	Arcillo – Limosa (RL)	> 100
8	San Rafael	8.68	Franca (C)	> 100
9	San Rafael	6.57	Franco – Arcillo – Limosa (CRL)	> 100
10	San Rafael	6.33	Arcillosa (R)	> 100
11	San Joaquín	8.30	Arcillo – Limosa (RL)	> 100
12	San Joaquín	7.90	Franco – Arcillo – Limosa (CRL)	> 100

En cuanto a la cuantificación de mercurio total en suelos, los resultados obtenidos presentan cantidades mayores a 100 mg/Kg, y por lo tanto rebasan el nivel permisible de acuerdo a la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, donde el límite máximo para suelos agrícolas no debe superar los 23 mg/kg, (Tabla 1).

Los resultados muestran una relación entre los factores bióticos, abióticos y la presencia de mercurio. Donde las características de los suelos presentes en los análisis, mostraron lo que varios autores han expresado anteriormente (Hernández *et al.*, 2009; Huerta, 2010; Solís *et al.*, 2009, entre otros), mencionando que suelos con un pH ácido tienen mayor capacidad para retener el mercurio, así como los suelos con una predominancia en la cantidad de arcillas.

Los suelos de cultivo de manzana dentro de la microcuenca se ubican en un clima templado, rodeados por una vegetación de bosque de pino- encino, que crecen sobre suelos originados por la disgregación de rocas sedimentarias, adquiriendo así una mezcla de factores que le dan la peculiaridad de que los suelos presentes, tengan un pH que oscila entre ligeramente ácido y moderadamente alcalino, y con una textura arcillo limosa predominante que favorece la retención de mercurio, el cual puede provenir tanto de los yales mineros abandonados y de la movilización de los sedimentos como de la dispersión y deposición por parte de la atmósfera.

Sin embargo aún falta conocer el contenido de mercurio total en frutos, se espera observar una relación entre la cantidad de mercurio encontrada en los suelos y en frutos, sin embargo y de acuerdo a varios autores es probable que la planta no absorba cantidades significativas del elemento que se encuentra disponible en el suelo y que en ocasiones los niveles presentes en los frutos no representen riesgo a la salud.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Doctora Rocío García del Centro de Ciencias de la Atmósfera perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Maestra Alba Díaz del Laboratorio Calaguas perteneciente a la Universidad Autónoma de Querétaro.

A los habitantes del municipio de San Joaquín y a los trabajadores del área de Desarrollo Agropecuario y Topografía.

## **REFERENCIAS**

Cuapio, C., Morales, A. y Núñez J. 2004. *La Explotación de Mercurio en el Distrito Minero de San Joaquín, Querétaro*. Mineralogía e Historia. IX Coloquio De Mineralogía. México.

Langenscheidt, A. (2006). *La minería en la Sierra Gorda*. Revista Arqueología Mexicana, 13, 46-53.

Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDEA). 2011. *Anuario Estadístico del Sector Rural*. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. México: SEDEA y Gobierno Estatal de Querétaro.



Martínez, S., Hernández, G. y Solís, S. 2009. Ciclo biogeoquímico del mercurio en los sistemas terrestres al sur de la Sierra Gorda de Querétaro, México. *Mercurio: El Hombre y la Naturaleza al Sur de la Sierra Gorda de Querétaro. Seminario "José Gregorio Solorio Munguía"* Universidad Nacional Autónoma de México.

Gutiérrez, M., Bucio, L y Souza. 2006. *Mercurio*. Departamento de ciencias de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa. México.

Torres, A. 1977. *Estudio de la contaminación por mercurio de trabajadores mineros en el estado de Querétaro*. Tesis para obtener el título de Químico. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

Hernández, G., Schárek, P., Bartha, A. y Solorio, G. 2009. Mercurio en suelos, sedimentos y terreros al sur de la Sierra Gorda de Querétaro, México. *Mercurio: El Hombre y la Naturaleza al Sur de la Sierra Gorda de Querétaro. Seminario "José Gregorio Solorio Munguía"* Universidad Nacional Autónoma de México.

Huerta C., H. 2010. *Determinación de Propiedades Físicas y Químicas de Suelos con Mercurio en la Región de San Joaquín, Qro. y su Relación con el Crecimiento Bacteriano*. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Biología. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

Bautista, P. y Hernández, M. 1995. *Presencia de mercurio en alimentos de origen animal y vegetal en algunas comunidades de Cadereyta, Peñamiller y San Joaquín en el estado de Querétaro*. Tesis colectiva para obtener el grado de Químico en Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

Solís, S.; Pérez, O. y Anzar, M. 2009. Contenido de mercurio total en cultivos agrícolas de la zona minera de San Joaquín, al sur de la Sierra Gorda, Qro. *Mercurio: El Hombre y la Naturaleza al Sur de la Sierra Gorda de Querétaro. Seminario "José Gregorio Solorio Munguía"* Universidad Nacional Autónoma de México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. *México en cifras. Información Nacional, por entidad federativa y Municipios*. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx>

García, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. (5ª Ed.) México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2004. *Guía para la interpretación de cartografía*. México: INEGI.

Osorio, N. 2012. *Toma de Muestras de Suelos para Evaluar la Fertilidad del Suelo*. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal (publicación interna). Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Volke, T., Velasco, J. y De la Rosa, D. 2005. *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología.

Larenas B., N. 2010. *Determinación de la concentración de metales pasados en agua, suelo y cultivos regados con agua de la Presa Manuel Ávila Camacho*. Tesis para obtener el título de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México.

Bouyoucos, G. 1962. En: Medina, H., García, J. y Núñez D. 2007. *El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de Suelo*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 16 (003) 19 -24.

Secretaría de Salud (SS). 1995. NORMA Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

Siebe, C., Jahn R. y Stahr K. 2006. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. (2ª Ed.). México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

Secretaria De Medio Ambiente Y Recursos Naturales. 2007. NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

# IDENTIFICACIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA EN CUENCAS HIDROLÓGICAS MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y SENSORES REMOTOS

Santiago JAIMES G., Braulio D. ROBLES R., Ramiro VEGA N., Mario VILLARREAL P., Jorge GONZÁLEZ M.; Mauro IÑIGUEZ C.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuahunahuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550 correo: [sjaimes@tlaloc.imta.mx](mailto:sjaimes@tlaloc.imta.mx), [brobles@tlaloc.imta.mx](mailto:brobles@tlaloc.imta.mx), Tel: 01777-3293657, 01777-3293600 Ext. 611

## RESUMEN

La metodología identifica, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sensores Remotos (SR), a aquellos suelos con aptitud para la agricultura e identifica también las posibilidades de expansión de la frontera agrícola en una cuenca hidrológica. Esto es posible mediante el estudio y análisis espacial de información temático-estadística y cartográfico-espacial de los diferentes factores que limitan en diferentes grados y que interactúan entre sí para determinar la potencialidad agrícola del suelo.

La metodología identifica las diferentes clases del suelo de acuerdo a su aptitud agrícola. La información temática-cartográfica, (pendientes, textura, fases físicas, fases químicas, plano agroclimatológico, uso de suelo, edafología, entre otra), es clasificada de acuerdo a la información que se representa en cada tema y es analizada por especialistas con base en la clasificación de suelos utilizada por el INEGI. Después se analiza la importancia que representa cada tema para definir el grado de aptitud agrícola del suelo; asignando un factor variable como peso de importancia. Mediante el SIG se realizan las operaciones espaciales correspondientes y se genera así el plano de aptitud agrícola del suelo. Posteriormente, del plano de uso actual se descartan las áreas productivas (distritos de riego, unidades de riego identificadas, entre otras) y áreas, que debido a sus características, no pueden serlo, entre estas es posible mencionar: cuerpos de agua, pantanos, áreas de reserva ecológicas, entre otras. Este nuevo plano se sobrepone al plano de aptitud, previamente generado y como resultado se obtiene el plano de frontera agrícola de la cuenca estudiada.

**Palabras clave:** Clasificación, factores limitantes, aptitud agrícola, frontera agrícola.

## 1. INTRODUCCIÓN

En México, como en otros países, el crecimiento demográfico ha generado una demanda de alimentos que ha superado la oferta interna del país haciendo necesaria la importación de productos agropecuarios, sobre todo de los considerados básicos para la alimentación. De acuerdo con las tendencias de crecimiento, para satisfacer la demanda futura, lograr una aceptable seguridad alimentaria y el balance comercial; se hace necesario, entre otras acciones, incrementar la frontera agrícola y mejorar los actuales sistemas de producción.

Además se necesita generar e implementar estrategias que permitan un mayor aprovechamiento de los recursos e identificar áreas con altos índices de potencialidad agrícola, que actualmente, o son subutilizadas, o están sin producir debido a la falta de infraestructura hidroagrícola que permita su incorporación a la agricultura. Las cuencas hidrológicas no escapan a este esquema, estas entidades productivas requieren del uso y aplicación de tecnología moderna que permita conocer la situación real del aprovechamiento de sus recursos naturales, para lo cual es necesario disponer, actualizar, generar, analizar y procesar grandes cantidades de información temático-estadística y cartográfica-espacial relacionada con estos recursos.

La metodología consiste en analizar e identificar mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y sensores remotos, las perspectivas de expansión de la frontera agrícola mediante el estudio y análisis espacial de la información temático-estadística y cartográfica-espacial correspondiente a los diferentes factores que interactúan entre sí para determinar la potencialidad productiva de los suelos a nivel de cuenca hidrológica.

De esta manera, permite identificar las clases del suelo de acuerdo a su aptitud agrícola. La información temática, principalmente la cartográfica-espacial (pendientes, fases físicas y químicas de los suelos, plano agroclimatológico, uso de suelo, edafología, entre otra), es clasificada en el número de clases, de acuerdo a la información representada en cada uno de ellos y analizada por un grupo de especialistas que toma como base la clasificación de suelos INEGI-FAO. Después de dicha clasificación, se analiza la importancia de cada tema en la definición del grado de aptitud agrícola del suelo y se asignan pesos de importancia. Con el software utilizado se realizan operaciones espaciales y se genera el plano que muestra la distribución geográfica del grado de aptitud del suelo para la agricultura, de acuerdo a la clase asignada por el programa durante la ejecución de sus operaciones espaciales, a la clasificación y pesos de importancia previamente asignados a los temas.

Del plano de aptitud del suelo generado de la imagen de satélite y de cartas topográficas INEGI se eliminan áreas conocidas como productivas (distritos de riego, unidades de riego identificadas, otras), además de aquellas áreas, que por su condición, no lo pueden ser (cuerpos de agua, pantanos, entre otras). Una vez clasificado el plano de uso del suelo se sobrepone al plano general de aptitud del suelo, previamente generado, y como resultado se obtiene el plano de frontera agrícola de la cuenca estudiada.

## **2. OBJETIVO**

Identificar la frontera agrícola mediante el estudio de factores limitantes a través del uso de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos.

## **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

Es muy importante identificar la utilidad e importancia que representa los diferentes tipos de información involucrada en el desarrollo de esta metodología. Se definen principalmente dos tipos: la cartográfica y la estadística. Para su adquisición es necesario acudir a diversas fuentes

gubernamentales e instituciones educativas así como a empresas particulares relacionadas con su uso y generación.

En muchos casos no es posible disponer de toda la información requerida, por lo cual es necesario generar gran parte de ella, como ejemplo el estudio agroclimático que involucra el análisis del comportamiento de diversas variables climáticas, para lo cual se requiere del uso de sistemas que permitan el manejo automático de bases de datos climatológicos (Extractor Rápido de Información Climatológica “ERIC”, entre otros sistemas) complementándose con información generada directamente en campo (Estaciones climatológicas).

Esta metodología requiere de la participación de un grupo de especialistas multidisciplinario que lleve a cabo la revisión y el análisis de cada uno de los temas involucrados y su clasificación para su utilización durante la aplicación metodológica. La disponibilidad de mayor calidad y cantidad en los elementos informativos permitirá lograr una mayor precisión en los resultados obtenidos del análisis realizado.

También, parte importante de esta metodología es la revisión y validación en campo de los resultados obtenidos durante la aplicación del desarrollo metodológico. La figura 1 muestra un esquema general de la metodología en cada una de sus etapas.

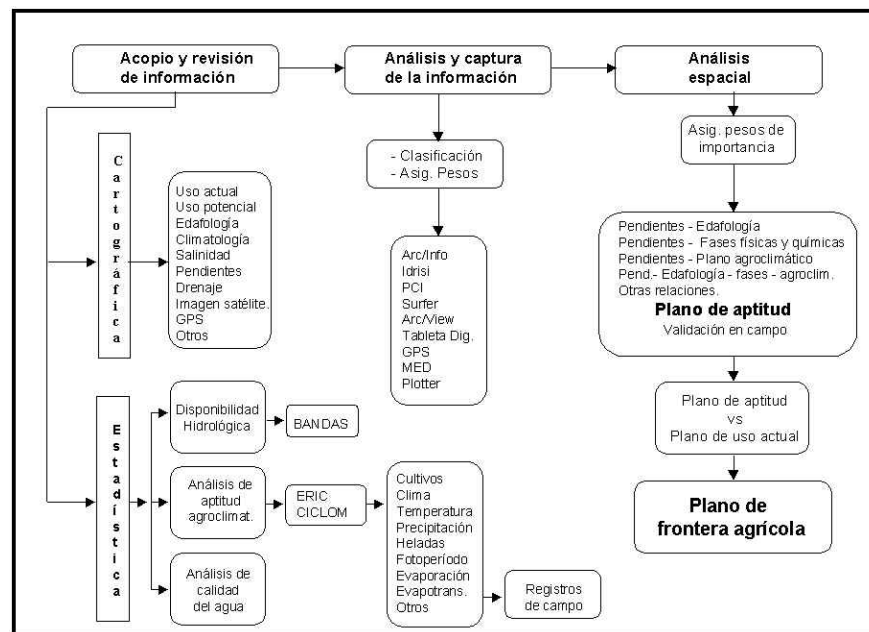


Fig. 1. Metodología para la generación del plano de frontera agrícola

## **4. ACOPIO DE LA INFORMACIÓN**

Como en todo análisis, la calidad y la precisión de los resultados dependen de la información de entrada. Como se indica en el diagrama anterior, principalmente son dos tipos de información los que se incluyen en el desarrollo de la metodología; la información cartográfica y la estadística.

### **4.1 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA.**

Cada uno de los temas indicados (Uso actual del suelo, uso potencial del suelo, edafología, salinidad, pendientes, drenaje, zonas de inundación, zonas de reserva ecológica, zonas petrolíferas, zonas mineras, entre otros temas), representan a los factores limitantes de la aptitud del suelo para la producción de cultivos.

Una de las principales instituciones generadoras de información cartográfica en México es el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), sin embargo es necesario señalar que la mayoría de la información cartográfica de INEGI data de los años 70 y se encuentra sólo a escalas pequeñas (1:250,000 y 1:1,000,000), por lo que la precisión está en función de esto. Para estudios de gran visión que permitan ubicar de manera rápida las zonas adecuadas para la expansión de la frontera agrícola, esta información puede resultar útil, pero si se quiere lograr una mayor precisión o hacer análisis en áreas muy pequeñas, será necesario disponer con cartografía a escalas mayores (1:50,000).

La metodología incluye un módulo en el que se da a conocer el procedimiento para generar el plano correspondiente a la aptitud agroclimatológica. A través de una guía práctica se detalla el análisis de cada una de las variables climatológicas analizadas, así como el manejo de las diferentes opciones del programa SURFER para generar dicho plano.

Para generar el plano de las pendientes de la zona proyecto, se hizo uso del Modelo de Elevación Digital (GEMA) desarrollado por INEGI. La escala de este modelo corresponde a 1:50,000, y la metodología considera también una guía práctica para el manejo de dicho modelo mediante el programa IDRISI 32. (Figuras 2, 3 y 4)

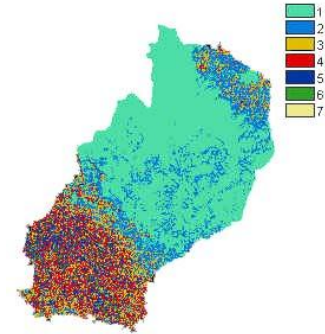
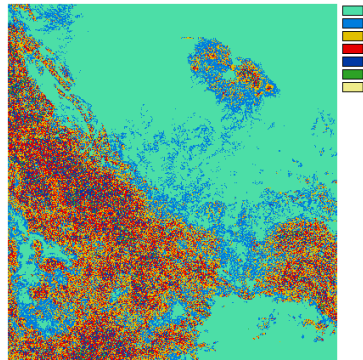
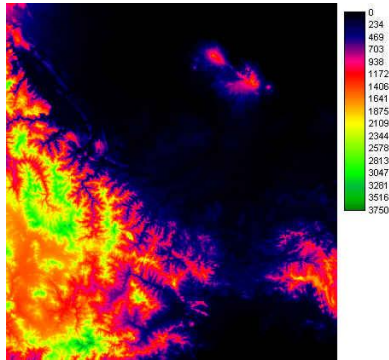


Fig. 2 Modelo sin clasificar

Fig. 3. Modelo clasificado

Fig.4. plano de pendientes

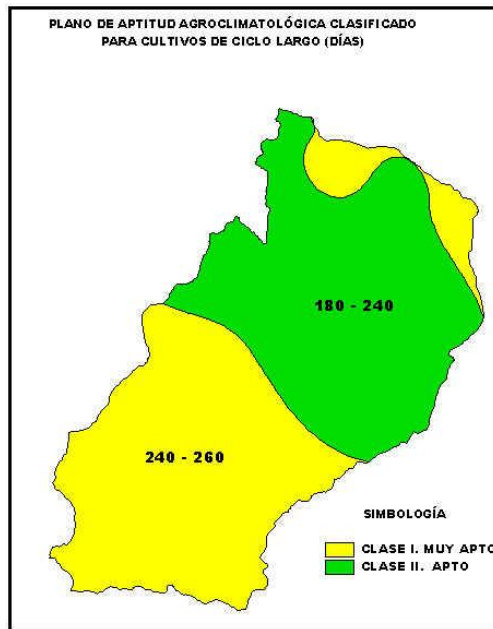
## 4.2 INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

La información estadística utilizada en la metodología corresponde a la relacionada con la generación del plano de aptitud agroclimatológica y al análisis de disponibilidad hidrológica.

Para la generación del plano de aptitud agroclimatológica se recurrió al uso de los sistemas: Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC) y el Sistema para el Manejo Automático de Bases de Datos Climatológicos (CICLOM), complementándose con la información contenida en las estaciones climatológicas convencionales y automatizadas localizadas en la zona proyecto (información extraída directamente en campo).

Esta etapa metodológica consiste en dar a conocer el procedimiento a seguir para la selección y ubicación de las estaciones climatológicas para generar el plano de aptitud agroclimática, procesamiento de la información de las variables meteorológicas, generación de los diferentes planos de estas variables, y finalmente la obtención del plano agroclimático.

Las variables climatológicas analizadas fueron: temperatura, mínima, media y máxima, precipitación, evapotranspiración y balance hídrico y la sobreposición de estas variables permitió generar el plano con la distribución geográfica de superficies con diferentes grados de aptitud para



el establecimiento de cultivos tomando como base sus periodos de crecimiento efectivo (Figura 5).

Fig. 5. Plano de aptitud agroclimática

Para el desarrollo del análisis de disponibilidad hidrológica se hizo uso del sistema denominado: Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS) y de información de campo.

## 5. ANÁLISIS Y CAPTURA DE LA INFORMACIÓN

La captura (digitalización) de la información cartográfica se llevó a cabo mediante el uso de software que permite asignar formato DXF, ya que éste es el requerido para ser utilizado en la metodología; puede utilizar AUTOCAD o ARC/INFO, entre otros. En el caso de la generación de los planos correspondientes al estudio de aptitud agroclimática se hace uso del programa SURFER y estos se generan mediante la interpolación de los valores registrados en las estaciones climatológicas para cada una de las variables estudiadas (temperaturas, precipitación, heladas, fotoperiodo, evapotranspiración, entre otras variables). También, para generar el plano de pendientes, se usa y procesa el modelo de elevación digital correspondiente al área proyecto, utilizando el programa IDRISI. Para la captura y análisis de la información estadística se hace uso de hojas de cálculo y de programas que contienen bases de datos estadísticos, como los anteriormente señalados.



Previo a la captura de esta información, es necesario su análisis para definir la clasificación correspondiente a cada tema (pendientes, edafología, climatología, fases físicas y químicas del suelo, entre otros temas). Esta actividad se debe realizar en trabajo conjunto entre especialistas en los diversos temas. El siguiente diagrama muestra un modelo de análisis de información. Como se observa, es necesario clasificar cada uno de los temas considerados en la metodología en el número de clases que realmente les corresponda, tomando como base la clasificación de suelos utilizada por INEGI (8 clases). Posteriormente, a cada tema se le asigna un factor variable, de acuerdo a la importancia que represente en el análisis (dado en porcentaje). Al momento de digitalizar la información cartográfica, cada polígono del plano es etiquetado mediante la asignación de Identificadores (Ids) y cada Id corresponde al valor de la/las clases previamente asignadas a cada tema (Figura 6).

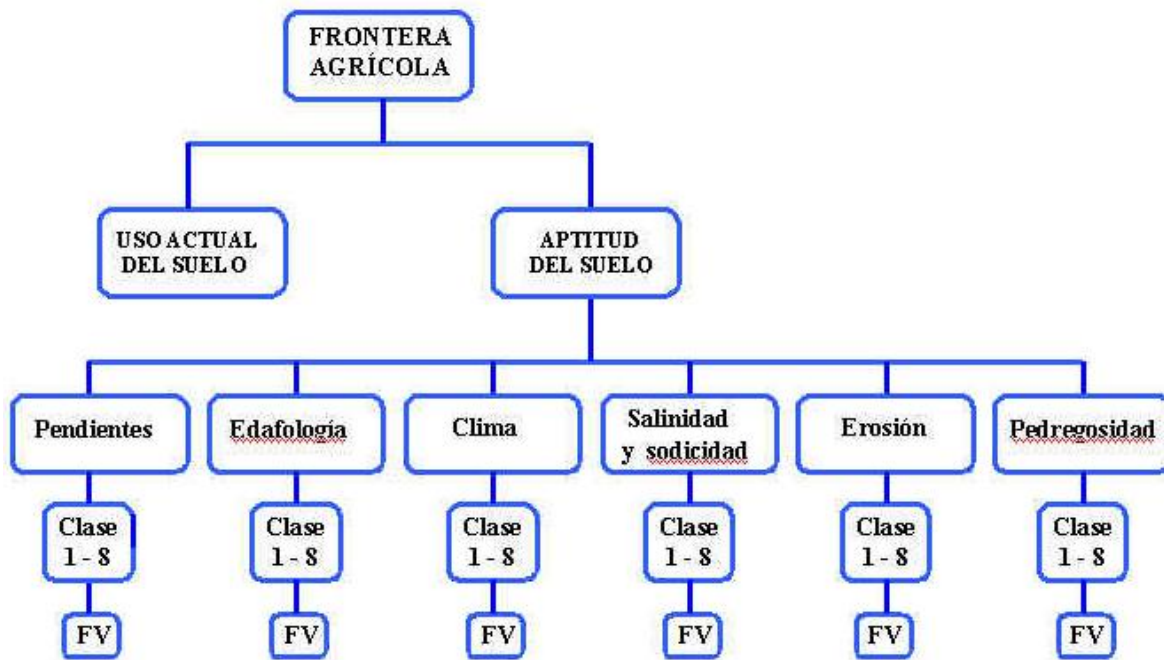


Fig. 6. Modelo para la clasificación temática

## 6. ANÁLISIS ESPACIAL

Definida, capturada y clasificada la información, se realiza el análisis espacial mediante el proceso de sobreposición temática. En esta etapa se considera al plano de pendientes como el tema que podría representar mayor importancia para la identificación de superficies aptas para la agricultura, continuando así, por orden de importancia, los temas referentes al clima, edafología, salinidad, sodicidad, geología, pedregosidad y erosión, entre otros temas. Como resultado de la sobreposición temática se genera un nuevo plano que muestra la distribución geográfica de los diferentes grados de aptitud de un suelo para la agricultura, expresados en clases (Figura 7).

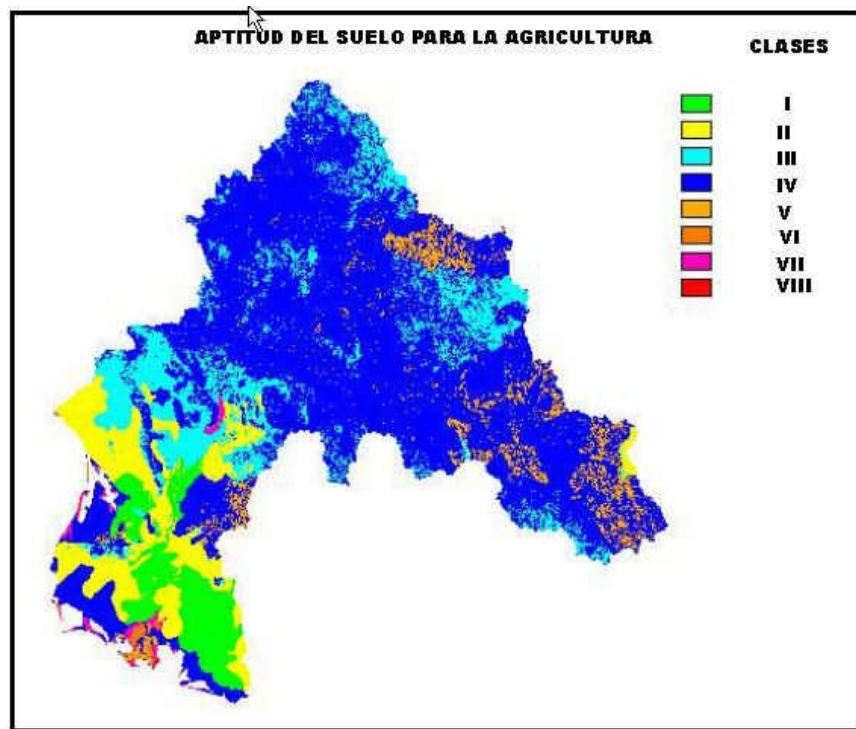


Fig. 7. Plano de aptitud del suelo para la agricultura.

Este plano se sobrepone al de uso actual, generado mediante el procesamiento de las imágenes de satélite con la finalidad de identificar y discriminar áreas identificadas como productivas y que, de cierta manera no se consideran, por su ocupación actual, factibles de ampliar la frontera agrícola, ejemplo: distritos de riego, unidades de riego identificadas, cuerpos de agua, pantanos, bosques, zonas de reserva ecológica o protegidas, zonas mineras, zonas petrolíferas, entre otra ocupación (Figura 8).

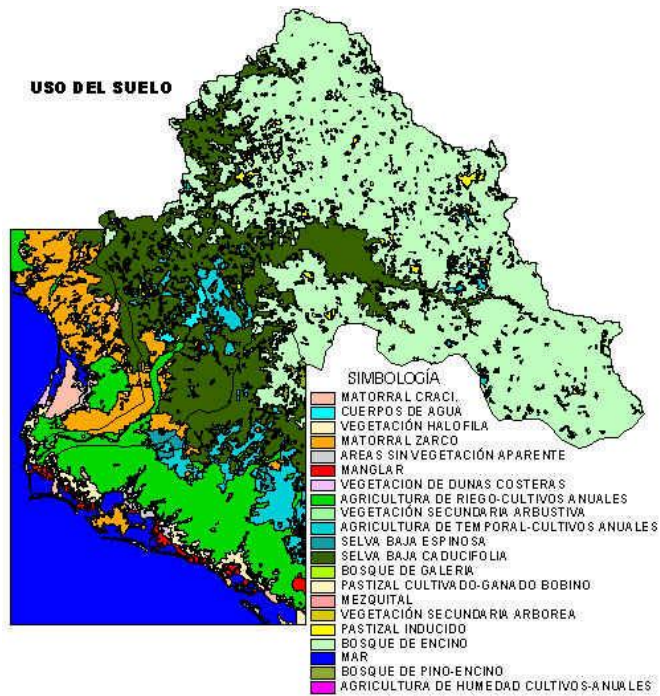


Fig. 8. Uso actual del suelo de la cuenca del Río Fuerte, Sin.

De esta manera se genera un plano que contiene solo superficies de interés productivo como zonas de temporal, algunas zonas de matorrales, zonas de humedad, entre otras áreas (Figura 9).

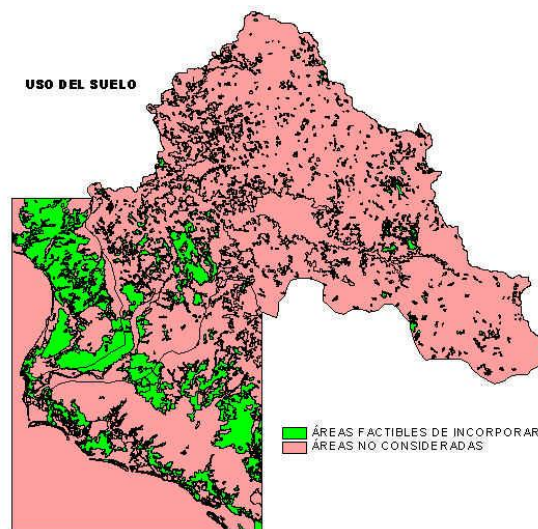


Fig. 9. Discriminación de áreas por tipo de ocupación.

Este plano es sobrepuesto al de aptitud del suelo para la agricultura, previamente generado, obteniendo así un plano final que muestra la distribución del suelo en la clase correspondiente; también llamado “plano de ampliación de frontera agrícola” (Figura 4). Puede considerarse que los suelos que se encuentren ubicados entre las clases I a la IV serán los que incrementarán, con las restricciones propias de cada clase, la superficie de cultivo de la frontera agrícola de la cuenca estudiada (Figura 10).

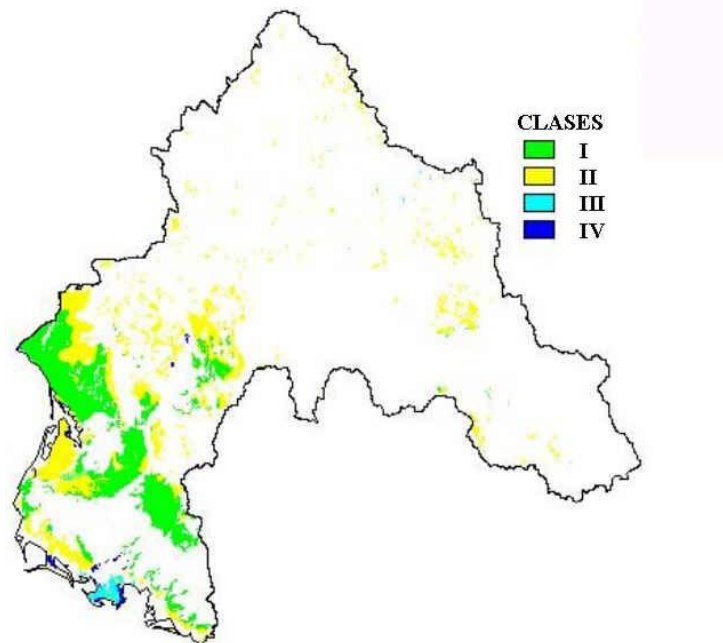


Fig. 10. Plano de ampliación de frontera agrícola.

La decisión de ampliar la frontera agrícola de una cuenca dependerá del análisis de otros factores limitantes de gran importancia tales como: disponibilidad hidrológica, factibilidad técnica y económica, aspectos sociales y ecológicos, entre otras condiciones.

Como complemento de la propuesta metodológica se considera el desarrollo de diversos análisis como son: estudio agroclimático, estudio de disponibilidad hidrológica y estudio de la calidad del agua.

## 6.1 ESTUDIO AGROCLIMÁTICO

Para la generación de este tipo de información cartográfica (planos) se realizó un estudio detallado cuyo objetivo fue la identificación de aquellas áreas en las que es posible el desarrollo de los cultivos con base en su periodo de crecimiento efectivo. Se identificaron áreas aptas para establecer cultivos de ciclo corto, de ciclo intermedio, de ciclo largo, cultivos subtropicales y cultivos tropicales. Como anteriormente se ha mencionado, para la identificación de estas áreas fue necesario analizar diversas variables climatológicas de las estaciones seleccionadas, siendo estas:

Temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, evaporación, evapotranspiración, precipitación, fotoperíodo, grados días de crecimiento y unidades fototérmicas.

## **6.2 ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD HIDROLÓGICA**

Este estudio permite conocer la disponibilidad hidrológica de la cuenca estudiada. De esta manera, una vez identificada la superficie que se incorporará a la frontera agrícola de la cuenca, es muy importante conocer su disponibilidad hidrológica total, los usos y extracciones que de ella se realiza y el volumen de agua disponible para abastecer del riego a la superficie identificada con aptitud agrícola.

## **6.3 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA**

Esta metodología también considera el análisis de la calidad del agua disponible en la cuenca estudiada. Aunque exista un gran volumen de agua disponible en la cuenca, si la calidad de ésta no corresponde con el uso requerido, no será posible incorporar a la agricultura a aquellas áreas identificadas con esa aptitud.

# **7. RESULTADOS**

Se dispone de una metodología que permite evaluar la frontera agrícola de una cuenca hidrológica. Se han realizado dos estudios de caso: la cuenca del Río fuerte, Sinaloa y la cuenca del Río Papaloapan, Veracruz.

En la cuenca del Río Fuerte, se han identificado y cuantificado, de manera tentativa, del orden de 604, 468 ha con aptitud para la agricultura y que podrían permitir, previo el desarrollo y análisis de otros factores limitantes, la ampliación de la frontera agrícola de esta cuenca.

Se dispone de documentación técnica de apoyo que permite al usuario aplicar, de una manera práctica y sencilla dicha metodología.

# **8. CONCLUSIONES**

La metodología puede ser aplicada en cualquier cuenca hidrológica del país. La asignación de pesos de importancia a cada uno de los temas cartográficos es decisiva en la generación de resultados, por lo tanto, es necesario que el grupo de especialistas que participan en esta etapa la analicen con detalle y definan el grado de importancia correspondiente a cada tipo de información en el proceso.

La decisión de incorporar áreas aptas para la agricultura, identificadas con la metodología, debe realizarse con base en el análisis detallado de otro tipo de factores, tales como la disponibilidad hidráulica, la calidad del agua, aspectos económicos, sociales, de impacto ambiental, entre otros,

Posiblemente se identifique cantidades significativas de superficies aptas para la agricultura, sin embargo, también es importante verificar si esas superficies se encuentran compactas, de tal manera que resulte rentable llevar a cabo la puesta en marcha de un proyecto de riego que permita llevar el agua hasta esas superficies.

## **2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Comisión del Plan Nacional Hidráulico. S/F. La Frontera Agrícola de México. SARH.

Comisión del Plan Nacional Hidráulico. 1979. Depresión Central de Chiapas. Estudio de Uso Potencial del Suelo. Memoria Descriptiva, SARH. Realizado por Agrología y Desarrollo, S. C., según contrato CPNH 78-08.

Doorenboss, J. y Pruitt, W. O. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje, 24. Roma.

Doorenboss, J. and A. H. Kassam (1979). Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje, 33. Roma.

Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente/PNUMA. Expansión de la frontera agropecuaria y medio ambiente en América Latina. Comisión económica para América Latina/CEPAL.

RIESGOS, VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO CON  
ENFOQUE DE CUENCA





# VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA PARA LA DETERMINACIÓN DE AVENIDAS DE DISEÑO

## CASO DE ESTUDIO: PROYECTO HIDROELÉCTRICO LAS CRUCES, NAYARIT.

Victor MORALES MÉNDEZ<sup>a</sup>, Adriana SANTOS PÉREZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Comisión Federal de Electricidad, Guadalajara, Jalisco, email: ssvictormo@yahoo.com.mx

<sup>b</sup> Comisión Federal de electricidad, Guadalajara, Jalisco

### RESUMEN

La falla de una presa por desbordamiento representaría sucesos catastróficos como pérdidas humanas, daños al medio ambiente y pérdidas económicas millonarias. Debido a que no se puede considerar la falla en una presa, el tema de Seguridad de Presas toma vital importancia en nuestros días. Una correcta determinación de la avenida de diseño permitirá un dimensionamiento óptimo de la obra de excedencias que no admita un evento como el mencionado. La importancia de contar con información hidrométrica confiable es trascendental para la obtención de las avenidas máximas históricas que son la base en la determinación de la avenida de diseño. En la mayoría de los casos dicha información es limitada y en algunas ocasiones inconsistente. Lo anterior puede suceder debido a las mediciones tomadas por los aforadores, si las estaciones hidrométricas están operando o no, la captura electrónica de los datos, entre otras situaciones. Es por todo lo anterior, que resulta necesario revisar y validar la información hidrométrica disponible de la estación en estudio. En el caso del P. H. Las Cruces se utilizó la estación hidrométrica San Pedro, ubicada en la cuenca del río del mismo nombre en el Estado de Nayarit. Los datos hidrométricos se validaron con los registros de escalas de la de misma estación con los de las estaciones Acaponeta y Capomal ubicadas en las cuencas vecinas de los ríos Acaponeta y Santiago, respectivamente. Del mismo modo, se verificaron las avenidas máximas registradas con los eventos meteorológicos que se presentaron en la misma fecha de ocurrencia, se verificó la capacidad hidráulica del cauce mediante un modelo matemático unidimensional, se revisó la orografía de la zona y la barrera que representa para esta cuenca la Sierra Madre Occidental y finalmente se hizo un análisis con isoyetas de lluvia. El resultado de este análisis fue una modificación en los valores de las dos avenidas más grandes registradas en la estación San Pedro.

**Palabras clave:** Seguridad, Presas, Riesgo, Desbordamiento, Información Hidrométrica, Avenida de diseño.

### 1 INTRODUCCIÓN

La falla de una presa ante avenidas puede ocurrir cuando se excede el límite del funcionamiento del sistema, es decir, cuando una avenida supera la capacidad de descarga de la obra de excedencias y la capacidad de almacenamiento del embalse ocasionando el desbordamiento de la cortina. Ante esta situación (Marengo 1994), se ha despertado una preocupación plenamente justificada concluyéndose en forma generalizada que las presas no deben fallar. La falla de una presa por desbordamiento representaría sucesos catastróficos como pérdidas humanas, daños al medio ambiente y pérdidas económicas millonarias.

El objetivo al revisar las principales causas de falla en presas es conocer los factores más importantes que deben tomarse en cuenta al hacer un análisis de riesgo de falla. Dicho análisis de seguridad permitirá, sin duda, construir presas más seguras y económicas, corregir algunas de las construidas con criterios audaces y tomar en cuenta la confiabilidad que deben tener estructuras temporales como las obras de desvío. (Marengo, 2002).

A lo largo de los últimos años se han realizado análisis de riesgo de falla ante desbordamiento de Proyectos Hidroeléctricos (PH) como Infiernillo (Marengo 2000), El Cajón (Morales y Marengo 2006), La Yesca (Marengo, Arreguín, Aldama y Morales 2013), en los cuales se han utilizado nuevas metodologías como la teoría de la confiabilidad (Marengo 2000) y el análisis de distribución de probabilidad multivariado (Morales, Marengo y Aldama 2010) lo anterior con el fin de evitar que ocurran eventos catastróficos como los antes mencionados. Sin embargo, dichas metodologías requieren información fidedigna que permita obtener resultados que describan más fielmente los fenómenos que se desean analizar. La importancia de contar con información hidrométrica confiable es trascendental para la obtención de las avenidas máximas históricas que son la base en la determinación de la avenida de diseño.

Dado que la correcta determinación de la avenida de diseño permitirá un dimensionamiento óptimo de la obra de excedencias, el análisis, tratamiento y la validación de la información hidrométrica resulta ser vital para los estudios de análisis de riesgo ante desbordamiento de las presas en estudio. En la mayoría de los casos dicha información hidrométrica es limitada y en algunas ocasiones inconsistente. Lo anterior puede suceder debido a las mediciones tomadas por los aforadores, si las estaciones hidrométricas están operando o no, la captura electrónica de los datos, entre otras situaciones, mismas que deben de ser evaluadas por el Ingeniero antes de utilizar la información hidrométrica correspondiente.

En el presente trabajo, se muestran diversas alternativas para analizar y validar la información disponible en el entendido de que se recomienda utilizar todas las posibles, de tal manera, que la información resultante sea confiable para comenzar con los estudios posteriores. Dichas alternativas son las de validar los datos hidrométricos con los registros de escalas de la de misma estación, con los gastos registrados en estaciones aguas arriba y/o aguas abajo de la misma y con los registros de gastos de estaciones en cuencas vecinas. Del mismo modo, verificar las avenidas máximas registradas con eventos meteorológicos que se presentaron en la misma fecha de ocurrencia. También es necesario verificar la capacidad hidráulica del cauce mediante un modelo matemático unidimensional, revisar la orografía de la zona y la barrera que representa para esta cuenca la Sierra Madre Occidental y finalmente hacer un análisis con isoyetas de lluvia.

Todo lo anterior, es necesario para verificar la veracidad de la información, si ésta en verdad tuvo posibilidades de ocurrir o si es posible que en el proceso de la toma de lectura hasta la publicación en medios electrónicos pudieron haberse suscitado eventos que pudieron llevar a ciertas inconsistencias en los datos.

Como caso de estudio se muestra la validación de la información hidrométrica para la determinación de la avenida de diseño del PH Las Cruces. Para tal efecto se utilizó la información correspondiente a la estación San Pedro ubicada en la cuenca del río del mismo nombre en el Estado de Nayarit.

## **2 ANTECEDENTES**

La Estación Hidrométrica (EH) San Pedro (Ruiz) se encuentra ubicada en el Estado de Nayarit sobre el río San Pedro aproximadamente a 50 km aguas abajo del sitio del PH Las Cruces siguiendo el río y a 25 km en línea recta. La información hidrométrica fue extraída del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) registrada con clave 11012 de la región 11 Presidio-San Pedro, de acuerdo a la información presentada en la base de datos mencionada. La cuenca del Río

San Pedro colinda al Norte con la cuenca de río Acaponeta y al Sur con la cuenca del río Santiago, sobre dichos ríos se encuentra la EH Acaponeta y la EH Capomal, respectivamente. Figura 1. La estación San Pedro Se encuentra en el poblado de Ruiz bajo el puente de ferrocarril que cruza el río a la altura del poblado. Figura 2.

Actualmente el BANDAS reporta 63 años de registro comprendidos en el periodo 1944-2006 en la EH San Pedro, donde el gasto máximo instantáneo registrado resulta ser de 6 302 m<sup>3</sup>/s para una avenida ocurrida el 13 de septiembre de 1993. A petición de la Comisión Federal de Electricidad a través del Centro de Anteproyectos del Pacífico Norte se le solicitó a la Gerencia Estatal del estado de Nayarit de la CONAGUA la información correspondiente al periodo 2007-2011 con el fin de complementar el periodo 1944-2011 correspondiente a 68 años de registro. Del mismo, modo se solicitó la actualización de las avenidas máximas para el periodo de 1944-2011 en donde los datos entregados presentaban una avenida máxima de 10 074 m<sup>3</sup>/s para una avenida ocurrida el 14 de octubre de 1994. A partir de dicha información es que se hacen los análisis siguientes.



**Figura 1.** Ubicaciones de las Estaciones Hidrométricas San Pedro, Acaponeta y Capomal sobre los ríos del mismo nombre.



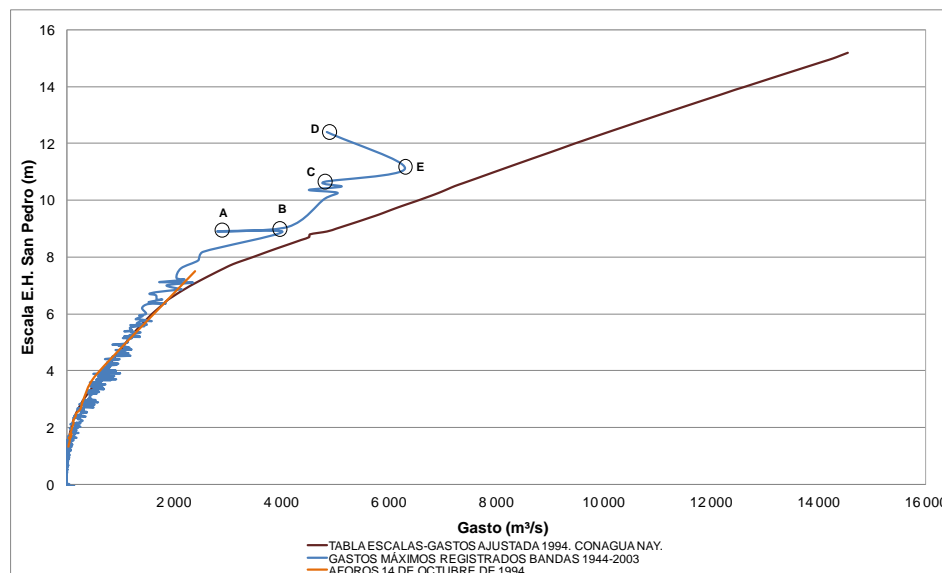
**Figura 2.** Estación Hidrométrica San Pedro, Ruiz, Nayarit.

### 3 VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA DE LA ESTACIÓN SAN PEDRO, NAYARIT

En esta sección se validan los datos hidrométricos con los registros de escalas de la de misma estación, con los gastos registrados en estaciones aguas arriba y/o aguas abajo de la misma y con los registros de gastos de estaciones en cuencas vecinas. Del mismo modo, se verifican las avenidas máximas registradas con eventos meteorológicos que se presentaron en la misma fecha de ocurrencia. También es necesario verificar la capacidad hidráulica del cauce mediante un modelo matemático unidimensional y finalmente hacer un análisis con isoyetas de lluvia.

#### 3.1 COMPARACIÓN GASTOS MÁXIMOS – ESCALAS MÁXIMAS

Cómo una primera revisión para sensibilizarse en el estado de los datos que se reportaban en el BANDAS se obtuvo una gráfica de Gastos vs Escalas de la estación San Pedro, Figura 3, de la cual se puede observar lo siguiente:



**Figura 3.** Gastos vs Escalas EH San Pedro y datos hidrométricos registrados en el BANDAS.

Datos hidrométricos registrados en el BANDAS (línea Azul)

- Conforme va aumentando la escala, los gastos registrados no presentan una tendencia similar.
- Entre el punto “A” y “B” existe casi el mismo nivel de escala pero con gastos diferentes; para “A” se tiene una escala de 8,88 m y un gasto de 2 807,2 m³/s y para “B” una escala de 8,90 y un gasto de 4 016 m³/s, lo cual representa una diferencia de 1 208 m³/s.
- Entre el punto “C” y “D” existe casi un mismo gasto para escalas diferentes, en “C” se tiene una escala de 10,64 m y un gasto de 4 792 m³/s y en “D” para una escala de 12,40 m se tiene un gasto de 4 846 m³/s, es decir 1,74 m de diferencia.

- Entre el punto “D” y “E” se puede observar que para una mayor escala se tiene un menor gasto en comparación con la escala anterior. En el punto “E” se tiene una escala de 11,12 m con un gasto de 6 302 m<sup>3</sup>/s y en “D” se tiene una escala de 12,4 m y un gasto de 4 846 m<sup>3</sup>/s.

Curva Elevaciones – Gastos de la sección de control de la EH San Pedro (línea Roja)

- Para la escala máxima registrada en la estación de 12.40 m el gasto resultante es de 10 079 m<sup>3</sup>/s mientras que el BANDAS reporta 4 856 m<sup>3</sup>/s para la avenida presentada el 14 de octubre de 1994.
- Para la segunda escala máxima registrada en la estación de 11.12 m el gasto resultante es de 8 147 m<sup>3</sup>/s mientras que el BANDAS reporta 6 302 m<sup>3</sup>/s para la avenida presentada el 13 de septiembre de 1993.
- Para el año de 2003 la escala máxima registrada en la estación fue de 10.36 m y el gasto resultante fue de 7 053 m<sup>3</sup>/s mientras que el BANDAS reporta 4 511 m<sup>3</sup>/s.

En la Tabla 1 se muestran los 7 mayores gastos registrados en la EH San Pedro.

En este caso, en la estación se hacen foros diarios de los cuales se infieren los gastos cuando se presenta una avenida máxima. De esta manera, se tiene una curva de ajuste diferente para cada avenida lo cual es lo que nos lleva a las diferencias mostradas.

**Tabla 1.** Gastos máximos presentados en la EH San Pedro

Año	Escala m	Gasto m <sup>3</sup> /s
14/09/1968	10.04	4 800
24/11/1972	10.26	5 045
22/09/2003	10.36	4 511
28/11/1976	10.48	5 122
22/10/1957	10.64	4 792
13/09/1993	11.12	6 302
14/10/1994	12.40	4 846

En el caso de la avenida presentada el 14 de octubre de 1994 el mayor gasto aforado fue de 2 394 m<sup>3</sup>/s con una escala de 7.5 m. En el caso de la Gerencia Estatal del estado de Nayarit, para inferir los gastos de escalas mayores utilizaban la tabla elevaciones-gastos obtenida en el año 1994. En el caso de la información proporcionada por el BANDAS se obtuvieron los gastos mediante el ajuste de los aforos. Lo anterior se muestra en la Figura 3 en donde si seguimos la tendencia de la línea naranja podemos llegar hasta el punto “D”.

### 3.2 EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS ASOCIADOS A LAS AVENIDAS MÁXIMAS

Considerando la inconsistencia de los datos anteriores y dado que la Gerencia Estatal de Nayarit de la CONAGUA reporta un gasto de 10 079 m<sup>3</sup>/s para la escala de 12.40 m, se procede a hacer una investigación que permita validar la ocurrencia de éste último dato. Para ello, se realizó una búsqueda de registros en

diversas publicaciones que hicieran referencia a algún evento meteorológico extremo que originara dicha avenida. Del mismo modo se verificó la influencia de estos eventos en las cuencas vecinas validando de esta manera los efectos de estos fenómenos. En el caso de la cuenca del río Acaponeta se consideró la estación del mismo nombre y en el caso de la cuenca del río Santiago se consideró la estación Capomal, ver Figura 1. En la tabla 2 se muestran los resultados de las mayores avenidas máximas registradas en cada estación y el evento meteorológico que se asocia cada una de ellas.

En el caso de los huracanes Naomi y Lidia presentados en 1968 y 1993, respectivamente, fueron los huracanes que más efectos devastadores han generado en la cuenca del río Acaponeta y en menor medida en la cuenca del río San Pedro pero sin dejar de ser considerables. El Consejo de Cuencas de los ríos Presidio al San Pedro en su programa de gestión del agua de 2006 (CCRPSP, 2006) reporta que en 1993 el Huracán Lidia provocó una avenida de 13 265 m<sup>3</sup>/s ocasionando daños muy similares al Huracán Naomi el cual ocasionó un gasto de 16 000 m<sup>3</sup>/s generando la inundación más grande en la ciudad de Acaponeta e inundando 24 ciudades más. En el caso de la estación San Pedro reporta que el efecto del Huracán Lidia ocasionó una avenida de 7 969 m<sup>3</sup>/s. Para éste último año el BANDAS reporta gastos de 7 944 y 6302 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. En el mismo documento, en el caso del Huracán Rosa presentado en 1994 la avenida reportada fue de 9 032 m<sup>3</sup>/s, éste último dato corrobora en gran medida el gasto reportado por la Gerencia Estatal de la CONAGUA en Nayarit para ese año de 10 079 m<sup>3</sup>/s. Como mención, el BANDAS reporta un gasto de 4 846 m<sup>3</sup>/s. Con respecto a la estación Capomal se concluyó que los efectos de dichos eventos meteorológicos no se presentaron en dicha cuenca. Del mismo modo, a partir de 1993 se inició el llenado del embalse de la Central Hidroeléctrica Aguamilpa por lo que los gastos en dicha estación se vieron disminuidos. En el caso de los años 1972, 1985 y 2003, las lluvias extremas ocasionaron avenidas en la cuenca del río San Pedro que se confirman, para los dos primeros años, con la estación Acaponeta y para el 2003 con la estación Capomal.

Como se puede observar del análisis anterior, los gastos reportados en el BANDAS proporcionan que la mayor avenida presentada en la estación San Pedro fue en 1993 con 6 302 m<sup>3</sup>/s como gasto pico, sin embargo, la mayor escala reportada fue en 1994 de 12.40 m cuyo gasto asociado fue de 4 846 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo, registros históricos reportan que la mayor avenida presentada en la estación San Pedro fue en el año de 1994 con 9 032 m<sup>3</sup>/s y que la segunda mayor avenida fue la presentada en 1993 con 7 969 m<sup>3</sup>/s lo cual concuerda más con las escalas máximas registradas para esas avenidas de 12.40 m y 11.12 m, respectivamente.

**Tabla 2.** Gastos máximos y eventos meteorológicos presentados en las estaciones El Capomal, San Pedro y Acaponeta

Año	Fecha	EL CAPOMAL		SAN PEDRO		ACAPONETA		Eventos meteorológicos extremos
		Gasto máximo m <sup>3</sup> /s	Fecha	Gasto máximo m <sup>3</sup> /s	Fecha	Gasto máximo m <sup>3</sup> /s	Fecha	
1968	13-sep	2 025	14-sep	4 800	13-sep	16 000		Huracán (1) Naomi 10-13 de septiembre
1972	25-nov	2 280	24-nov	5 045	24-nov	7 050		Lluvias extremas
1985	17-ene	1 856	14-ene	4 125	13-ene	5 096		Lluvias extremas
1993	13-sep	665	13-sep	6 302	13-sep	7 944		Huracán Lidia (2) septiembre
1994	14-oct	310	14-oct	4 846	14-oct	1 409		Huracán (2) Rosa 11-14 de octubre
2003	22-sep	4 137	22-sep	4 512	21-sep	538		Lluvias extremas

(1) Huracán Categoría 1

(2) Huracán Categoría 2

Escala Saffir-Simpson

### 3.3 MODELO MATEMÁTICO UNIDIMENSIONAL DEL RÍO SAN PEDRO

El siguiente paso del análisis fue verificar la capacidad del cauce mediante un modelo matemático unidimensional utilizando el programa HEC-RAS del cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (USACE). Dicho modelo contó con 36 secciones transversales a lo largo de 80 km aproximadamente sobre el río San Pedro, desde la ubicación de la boquilla del PH. Las Cruces hasta la desembocadura del río con la Laguna Grande de Mezcaltitán. En la Figura 4 se muestra de manera esquemática las secciones del modelo y en la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos. En la figura 5 se muestran fotografías de la estación hidrométrica San Pedro durante la avenida ocurrida en octubre de 1994.

De acuerdo a los resultados obtenidos del modelo matemático se puede decir que para un tirante de 11.29 m se puede considerar un gasto de 8 000 m<sup>3</sup>/s sobre el río, del mismo modo para un tirante de 12.41 m el gasto que pasa por la sección es de 9 900 m<sup>3</sup>/s. De acuerdo a registros históricos y a las escalas máximas, para una escala de 11.12 m el gasto transitado fue de 7 969 m<sup>3</sup>/s y para una escala de 12.40 m el gasto presentado fue de 9 032 m<sup>3</sup>/s. Es importante concluir que el río tiene la capacidad de transitar los gastos antes señalados para las escalas registradas lo que nos lleva a una nueva validación de éstos últimos datos.

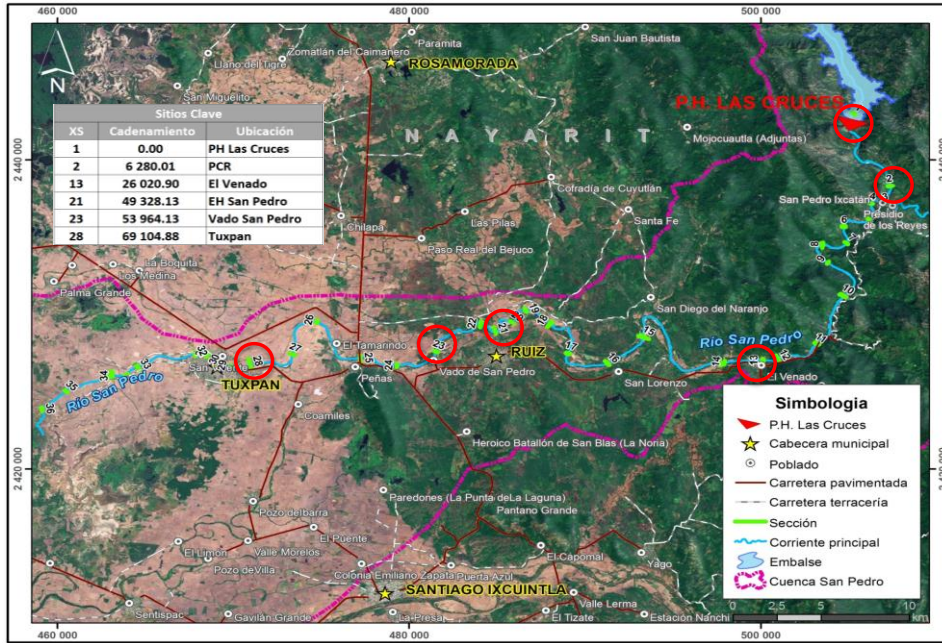
**Tabla 3.** Resultados del modelo matemático unidimensional

<b>Q Total</b> <b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Velocidad</b> <b>(m/s)</b>	<b>Área</b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Tirante</b> <b>(m)</b>
7 000	2.83	2 473	10.65
<b>8 000</b>	<b>2.96</b>	<b>2 702</b>	<b>11.29</b>
9 000	3.08	2 926	11.91
<b>9 900</b>	<b>3.17</b>	<b>3 121</b>	<b>12.41</b>
10 000	3.19	3 140	12.46
10 200	3.21	3 180	12.56

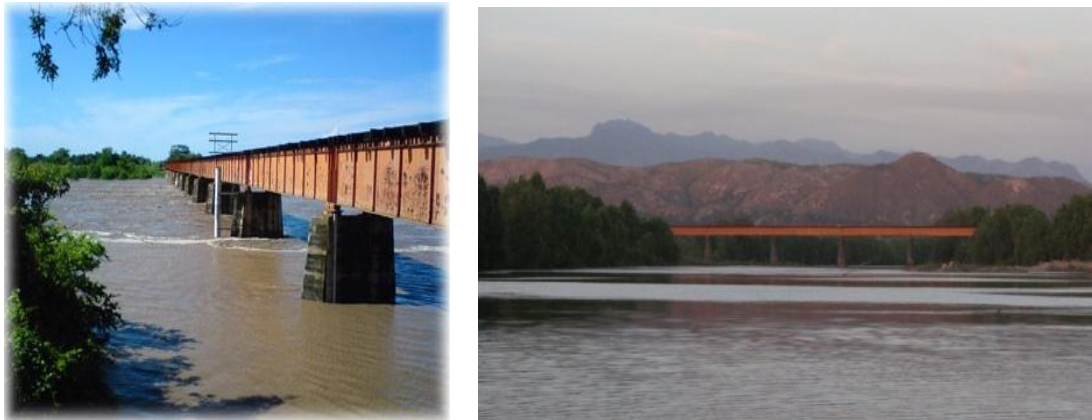
### 3.4 ISOYETAS DE LLUVIA

Finalmente se hace un análisis fisiográfico y de lluvia mediante isoyetas con la finalidad de verificar el comportamiento de los Huracanes con respecto a la barrera que representan la Sierra Madre Occidental en la cuenca del río San Pedro.

Con se puede ver en la Figura 1, la cuenca del río San Pedro se extiende hacia el Norte, de esta manera, las montañas que conforman la Sierra Madre Occidental en el tramo denominado Cañon de Mezquitil, crean una barrera orográfica de cerca de 1 000 de altura sobre el nivel del mar, lo cual no permite la introducción de los vientos alisios cargados de humedad a la cuenca. Dichos vientos chocan en el sistema montañoso produciendo lluvias intensas del lado del barlovento, dejando el sotavento con escasas lluvias.



**Figura 4.** Secciones transversales del modelo matemático unidimensional HEC-RAS.



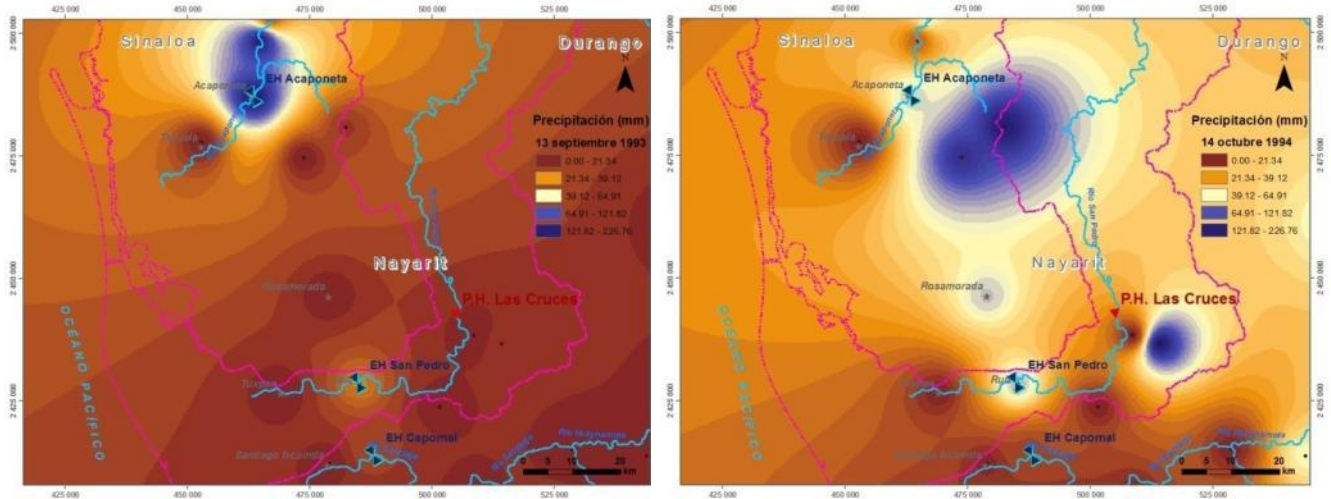
**Figura 5.** Estación hidrométrica San Pedro durante la avenida de octubre de 1994.

Lo anterior, demuestra que las grandes avenidas registradas en la EH San Pedro se originan en la “entrada” de la cuenca antes de que la cuenca se extienda hacia el Norte aguas abajo de la ubicación del PH Las Cruces. Es por ello que los efectos de los Huracanes mencionados en la Tabla 2 presentados en 1968 y 1993 se notan más en la estación Acajoneta y no tanto en la estación San Pedro, aún cuando la cuenca se extiende hacia esa zona. Cabe señalar que dichos huracanes tocaron tierra cerca de Mazatlán en Sinaloa. No así el Huracán Rosa presentado en 1994, el cual tocó tierra cerca Palmar de Cuautla en Nayarit (Tovilla y Orihuela, 2004) cuyos efectos más intensos se registraron en la estación San Pedro.

En la Figura 6, se muestran las isoyetas de lluvia obtenidas para los días en los que se presentaron las avenidas máximas de los años 1993 y 1994. Se observa cómo el 13 de septiembre de 1993 la máxima lluvia se concentra en la zona de la estación Acajoneta no habiendo muchos efectos del Huracán en la estación San



Pedro debido a la barrera orográfica de la zona. Del mismo modo para el 14 de octubre de 1994 la mayor concentración de lluvia se da al sur de la estación Acaponeta entrando un poco de lluvia a la cuenca del río San Pedro y en la entrada de ésta última a la altura del arroyo el Naranjo aguas abajo del sitio del PH Las Cruces.



**Figura 6.** Isoyetas de lluvia para las avenidas presentadas el 13 de septiembre de 1993 y el 14 de octubre de 1994.

### 3.5 VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA DE LA ESTACIÓN SAN PEDRO POR PARTE DE LA GASIR-CONAGUA

Con toda la información y resultados de los análisis realizados y presentados en este documento se le solicitó a la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) de la CONAGUA la validación de las avenidas máximas registradas en los años 1976, 1985, 1993, 1994 y 2003. Del mismo modo, la actualización de las avenidas máximas de 2006 a 2011 a fin de completar el periodo de registro existente quedando el periodo actualizado de 1944 a 2011.

En la tabla 4 se muestran los gastos validados por la GASIR para los años solicitados.

**Tabla 4.** Gastos máximos validados por la GASIR en la EH San Pedro

Año	Fecha	Gasto máximo horario bandas m <sup>3</sup> /s	Corregido CONAGUA
1976	28/11/1976	5122	4915
1985	14/01/1985	4125	4230
1993	13/09/1993	6302	7626
1994	14/10/1994	4846	9180
2003	22/09/2003	4512	4652
2006	17/09/2006		2234
2007	30/07/2007		1740
2008	31/08/2008		4214
2009	22/10/2009		1274
2010	27/09/2010		2754
2011	03/09/2011		1998

En esta caso, se observa que los cambios más significativos se presentan en los años 1993 y 1994, los cuales representan los gastos máximos de todo el periodo de registro, en 1993 el gasto máximo cambia de 6 302 m<sup>3</sup>/s a 7 626 m<sup>3</sup>/s lo que representa un aumento del 121%. Para la avenida de 1994, el cambio es más significativo cambiando de un gasto de 4 846 m<sup>3</sup>/s a 9 180 m<sup>3</sup>/s lo que representa un aumento en 189% siendo éste último el más significativo.

Cabe mencionar que la misma actualización se realizó en un análisis aparte para los gastos medios diarios registrados en el BANDAS y los obtenidos mediante las escalas medidas durante las mismas avenidas. En este caso para la avenida de 1993 el gasto medio diario registrado en el BANDAS fue de 3 898 m<sup>3</sup>/s y en 1994 de 1 902 m<sup>3</sup>/s. Con las escalas registradas a cada hora de las avenidas para el mismo día de ocurrencia del pico de la avenida y la tabla de escala-gastos de la sección de control de la EH San Pedro proporcionada por la Gerencia Estatal de Nayarit de la CONAGUA, los gastos obtenidos fueron de 4 045 y 4 627 m<sup>3</sup>/s, lo que representa incrementos del 103% y 243%, respectivamente. Siendo nuevamente el año de 1994 el más significativo.

#### 4 CONCLUSIONES

Como se mencionó al principio de este documento las presas deben de ser diseñadas para no fallar, en el caso de una falla por desbordamiento, la determinación de una correcta avenida de diseño podría evitar que se presenten eventos catastróficos durante la vida útil de la presa. Es en esta parte donde la información hidrometeorológica toma vital importancia por lo que resulta necesario que sea validada a conciencia.

La información en la mayoría de los casos es limitada y en algunas ocasiones inconsistente. Es deber del Ingeniero Proyectista revisar dicha hidrología y validarla conociendo todas las incertidumbres que se pueden presentar desde la toma de lectura hasta su publicación.

En el caso de la Estación Hidrométrica San Pedro, a raíz del análisis realizado, la avenida máxima registrada cambió de la avenida presentada en 1993 de 6 302 m<sup>3</sup>/s a la avenida presentada en 1994 de 9 180 m<sup>3</sup>/s lo que representa un aumento del 145%. Es debido a esto que toma relevancia este análisis, ya que en caso de tomar en cuenta los datos proporcionados por el BANDAS, el ajuste a una función de distribución de probabilidad para obtener la avenida con periodo de retorno (Tr) de 10 000 años resultaría en una subestimación de dicha avenida lo que llevaría a un diseño del vertedor cerca de dos terceras partes de lo que se debería de diseñar.

Es probable que no en todos los casos se presenten estas diferencias, sin embargo, como se observa en el punto 2.2, en la estación Acajoneta el gasto máximo para el año de 1993, proporcionado por el BANDAS, fue de 7 944 m<sup>3</sup>/s mientras que documentos de diferentes fuentes reportan que el gasto presentado fue de 13 265 m<sup>3</sup>/s aumentado en 166%, lo cual debe de ser considerado en el caso de que se desee estudiar un proyecto en dicho río.

De esta manera, la recomendación que se hace es validar la información con las escalas máximas registradas, verificar los eventos meteorológicos históricos, los registros hidrométricos de estaciones aguas arriba y/o de cuencas vecinas, la capacidad hidráulica del cauce mediante un modelo matemático unidimensional, revisar la orografía de la zona y hacer un análisis con isoyetas de lluvia. Con todos los análisis anteriores se tendrá información suficiente para validar la información hidrométrica.

## AGRADECIMIENTOS

Se expresan los más sinceros agradecimientos a la Gerencia Estatal de Nayarit y a la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos de la CONAGUA, por el apoyo proporcionado para la validación y actualización de la información hidrométrica de la estación San Pedro.

## REFERENCIAS

- Marengo Mogollón, H. 1994. Análisis de riesgo de falla en presas de tierra y enrocamiento ante avenidas. Tesis doctoral, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería de la UNAM, México D. F.
- Marengo Mogollón, H. 2000. Análisis de riesgo de falla por desbordamiento del proyecto hidroeléctrico Infiernillo. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XV, Núm. 1, pp. 73-99, enero-abril, México.
- Marengo M., H., 2002. Consideraciones de riesgo de falla en presas mexicanas. Seminario de Seguridad de Presas, México D. F.
- Tovilla C. Orihuela E. 2004. Impacto del huracán Rosa sobre los bosques de Manglar de la Costa Norte de Nayarit, México. Maderas y Bosques, otoño, año/vol. 10, número especial 2. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México. pp 63-75.
- Morales V, Marengo H. 2006. Análisis de riesgo de falla ante avenidas en el Proyecto Hidroeléctrico el Cajón. XIX Congreso Nacional de Hidráulica, Cuernavaca, Morelos, 2006.
- Consejo de Cuencas de los ríos Presidio al San Pedro. 2006. Programa de gestión del agua en las cuencas de los ríos Presidio al San Pedro. Distrito Federal. México.
- Morales V, Marengo H, Aldama A. 2010. Análisis Bivariado de Gastos Máximos, Caso aplicación: deslizamiento de tierra en la cuenca alta del río Grijalva, Chiapas. XXI Congreso Nacional de Hidráulica. Guadalajara, Jalisco, México, Octubre 2010.
- Marengo H, Arreguín F, Aldama A, Morales V, 2013. Case study: Risk analysis by overtopping of diversion works during dam construction: The *La Yesca* hydroelectric project, Mexico. Structural Safety. Philadelphia, USA.



# INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN EL RÍO GRANDE DE MORELIA DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO (EVIDENCIA Y ESCENARIOS DE PROYECCIÓN).

Joel HERNÁNDEZ BEDOLLA <sup>a</sup>, Sonia Tatiana SÁNCHEZ QUISPE <sup>b</sup>, Constantino DOMINGUEZ SÁNCHEZ <sup>c</sup>

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Santiago Tapia 403 Morelia Michoacán, email: <sup>a</sup>ing\_joel\_hb@hotmail.com, <sup>b</sup>soniatsq@hotmail.com, <sup>c</sup>constantinods@hotmail.com

## RESUMEN

La disponibilidad y calidad del agua determinan la productividad de las principales actividades de subsistencia, y ambos aspectos han disminuido en años recientes en México, por lo que el sector hídrico es uno de los más interesados en promover estrategias de adaptación ante el cambio climático. Uno de los cambios climáticos globales tienen mayor potencial para alterar la calidad del agua es el incremento de la temperatura el cual afectará también las propiedades físicas, químicas y biológicas de los lagos y ríos de agua dulce, y sus efectos sobre numerosas especies de agua dulce serían predominantemente adversos.

Este estudio se realizó caracterización e identificación de las tendencias de la temperatura del río grande de Morelia, que probablemente continuarán en las condiciones previstas por los diferentes modelos de circulación global. Para ello, los actuales modelos de la temperatura se realizaron con datos meteorológicos que se derivan de las observaciones meteorológicas reales, pero modificado con los cambios predichos por los modelos de circulación global.

Se realizó un análisis estadístico en los años 2000 a 2010 con el objetivo de determinar la evidencia del cambio climático, se concluyó que en la cabecera del río grande de Morelia, el incremento de temperatura no es significativo; en la parte media y baja de la cuenca el incremento de temperatura es significativo.

Por otra parte se realizó un análisis de las proyecciones de temperatura mediante modelo climático ensemble regionalizado a una resolución espacial de 50 km x 50 km para los escenarios de emisiones A2, A1B y B1 en periodos de 30 años del 2010 al 2099. El incremento de temperatura en el río grande de Morelia para el escenario A2 2070-2099 indicó un incremento promedio de 3.9 °C, el escenario A1B 2070-2099 presentó un incremento promedio de 2.7°C y el escenario B1 presentó un incremento promedio de 1.8°C.

**Palabras clave:** Cambio climático, temperatura del río, temperatura ambiente.

## 1 INTRODUCCIÓN

El concepto de cambio climático, surge por primera vez en el siglo XIX, como resultado de estudios geológicos que encontraron que desde épocas prehistóricas, la tierra había sufrido varios cambios de clima. Por mucho tiempo, los primeros cálculos del impacto humano sobre los cambios en el clima se discutieron acaloradamente, pero fue en los años 1960 que la evidencia científica comenzó a apoyar la noción de que las actividades humanas pudieran en realidad afectar el clima global. (Martínez, 2004a).

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) resultantes de ciertas actividades humanas, han sido la principal causa del inusual calentamiento del planeta durante los últimos 150 años (Barros, 2005; IPCC, 2007a).

La disponibilidad y calidad del agua determinan la productividad de las principales actividades de subsistencia, y ambos aspectos han disminuido en años recientes en México, por lo que el sector hídrico es uno de los más interesados en promover estrategias de adaptación ante el cambio climático (SEMARNAT 2012a).

El 73% de los cuerpos de agua del país están contaminados, ya que 80% de las descargas de centros urbanos y 85% de las industriales se vierten directamente a éstos. El uso de aguas no tratadas para el riego es una práctica común en 180,000 ha de 5,670,000 ha de área total de riego; la continua mezcla de estas aguas con afluentes de consumo humano en épocas de lluvias incrementa la vulnerabilidad de la salud en zonas urbanas (INE, 2012a). A partir de las evaluaciones de calidad del agua para los tres indicadores de la misma (DBO5, DQO y SST), aplicadas por CONAGUA a los sitios de monitoreo en el año 2009, se determinó que 21 cuencas están clasificadas como fuertemente contaminadas en algún indicador, en dos de ellos o en todos (INE, 2012).

Los cambios climáticos globales tienen mayor potencial para alterar la calidad del agua son el incremento de la temperatura, la reducción de la precipitación, el incremento de la evapotranspiración entre otros Parry et al., (2007), IPCC (2007) y Hernández (2012). El agua en ríos podrá experimentar cambios en los procesos de transporte de sedimentos, nutrientes, carbón orgánico disuelto, patógenos, pesticidas y contaminación térmica, lo cual podrá tener un impacto negativo en los ecosistemas, en la salud pública y en la confiabilidad y operación de sistemas de suministro de agua para diferentes usos (Cárdenas *et al.*, 2010).

El aumento de las temperaturas afectará también las propiedades físicas, químicas y biológicas de los lagos y ríos de agua dulce, y sus efectos sobre numerosas especies de agua dulce, sobre la composición de las comunidades y sobre la calidad del agua serían predominantemente adversos (IPCC, 2007a).

En México existe poca información disponible sobre los sistemas lacustres del país y el efecto que está ejerciendo el cambio climático en la calidad del agua, contaminación y vulnerabilidad. En el presente estudio se efectúa el estudio del cambio climático de la temperatura.

## 2 AREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Grande de Morelia se ubica en la Región Hidrológica No. 12, zona B formando parte como subcuenca del Lago de Cuitzeo y micro cuenca del Lago de Cuitzeo y Laguna de Yuriria.

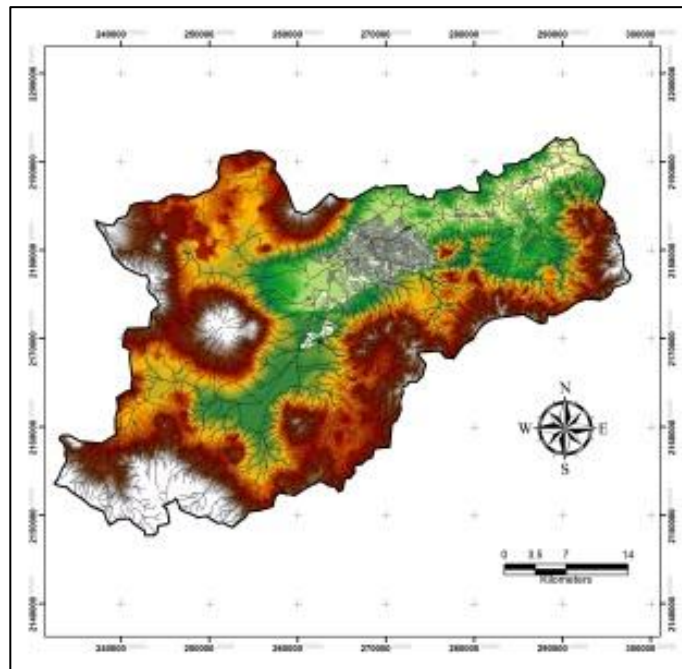
La zona de estudio se localiza en la porción centro-norte del estado de Michoacán, entre los paralelos 19°35' y 20°05' de latitud norte y los meridianos 100°45' y 101°25' de longitud oeste. Comprende un área de 1487 km<sup>2</sup> aproximadamente entre el río grande y afluentes (figura 1).

Las elevaciones topográficas que se observan en la zona varían de 1900 msnm, en la porción centro-norte (el lago de Cuitzeo y el poblado Álvaro Obregón) hasta de 2500 msnm en los cerros llamados los Cuantes que se ubican en la parte occidental de la región. La altitud media del valle es aproximadamente de 2200 msnm.

Los embalses más importantes son: Presa de Cointzio ubicada a 11 km al suroeste de la ciudad, el embalse la Mintzita ubicada a 8 km al suroeste de la ciudad y Lago de Cuitzeo ubicado a 39 km al norte de la ciudad.

La calidad del agua en la cuenca del río grande se ha visto disminuida desde la creación en 1973 de la Planta Industrial de Celulosa y Papel de Michoacán S.A. de C.V. (CEPAMISA) actualmente CRISOBA S.A. de C.V. debido a la gran cantidad de desechos industriales que se vierten en las aguas del río Grande de Morelia, lo que ocasiona un grande conflicto para los agricultores y ganaderos del Valle Morelia-Queréndaro, principalmente se han visto deterioradas las zonas de cultivo debido al riego con el agua con altos contaminantes. Por tal motivo la calidad de sus productos ha disminuido y por lo tanto se cotizan a un menor

precio que si se regaran con un pozo profundo. Este conflicto ha generado disputas entre los agricultores y la industria que hasta la fecha sigue utilizando el agua del manantial la Mintzita, y por lo tanto contaminando el agua de la ciudad.



**Figura 1.** Cuenca del río grande de Morelia.

### 3 MÉTODOS

Los encabezados de sección están centrados y formateados completamente en mayúsculas de 12 puntos en negrita. Las secciones deben ser numeradas secuencialmente, comenzando la primera sección, después del resumen. El título comienza con el número de sección. En Microsoft Word, el autor debe hacer esta numeración.

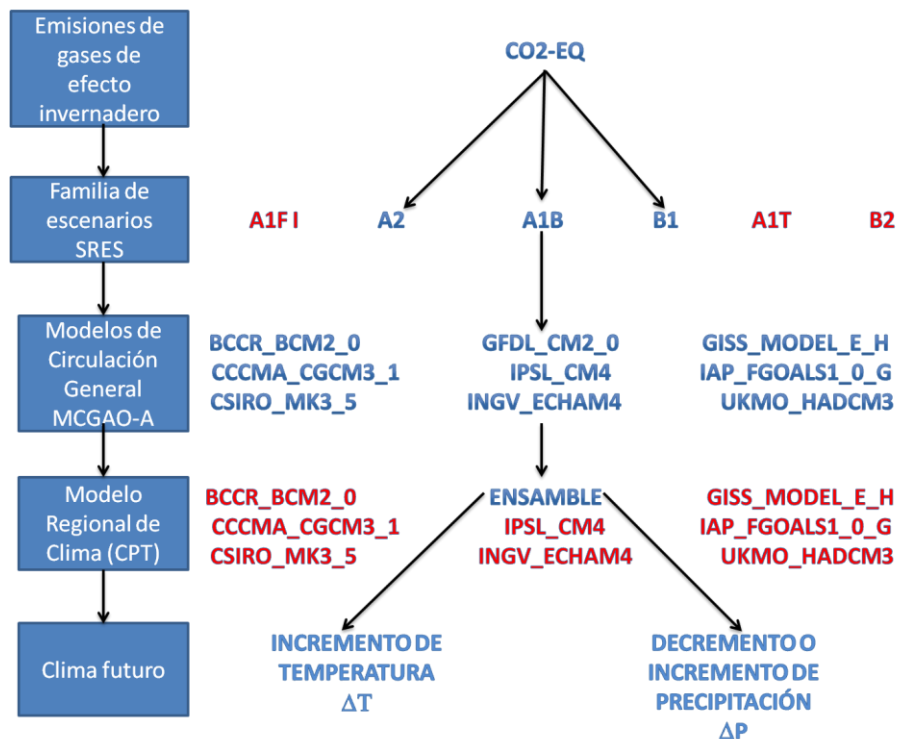
Para conocer los efectos del cambio climático en la temperatura del río Grande de Morelia, debemos conocer el área de estudio lo más detallada posible y contar con registros históricos confiables de las variables climática, que para el caso de estudio son temperaturas y así tener bases de datos de buena calidad para tener una mayor confiabilidad de los resultados que se obtengan.

Una vez teniendo las variables climáticas para el área de estudio se deben de analizar los diferentes resultados de los Modelos de Circulación Global (MCG) sus respectivas regionalizaciones para el área en estudio ya que estas tienen una mayor calidad de los resultados de los diversos escenarios climatológicos. Los resultados principales tanto de los MCG como de los modelos regionales son la temperatura y la precipitación.

A partir de los escenarios globales es necesaria una reducción de escala de 250 km x 250 km que son los resultados de los MCG, a una escala de 50 km x 50 km. Esto para contar con una mejor resolución espacial y mejor calidad en los resultados ya que se verán afectados por las condiciones topográficas, climatológicas,

hidrológicas, uso y tipo de suelo de la zona. Los escenarios usados en el presente artículo son los generados por el modelo regional CPT (Mason J. *et al.*, 2011) software desarrollado por el International Research Institute for climate and Society (IRI), de la universidad de Columbia. La regionalización de los escenarios para México la realizaron investigadores del Centro de Ciencias de la Atmosfera, de la Universidad Autónoma de México (UNAM), en conjunto con la Secretaria de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) y el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2007).

El procedimiento del modelo conceptual desde las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente hasta la regionalización de las variables de temperatura y precipitación se presentan en la figura 2.



**Figura 2.** Proceso secuencial de la determinación de los escenarios climáticos del modelo regional CPT a partir de los escenarios de emisiones globales SRES regionalizados.

Para obtener la posible evidencia del incremento de la temperatura se realizó un análisis de varianza estacional mensual, así como temporal mediante bloques completamente aleatorizados, así como análisis estáticos comparativos mediante la prueba “t” (Walpole, 1999a).

Las interpolaciones para realizar los mapas de alta resolución se realizaron mediante el método del U.S. National Weather Service (Inverso de la distancia al cuadrado), el cual se basa en el uso de información de estaciones vecinas y su transporte otras estaciones cercanas. Es uno de los más usados ya que hace una ponderación de datos simultáneos de las estaciones auxiliares, respecto de la distancia entre las estaciones secundarias y la estación de estudio (Hernández, 2010a).

Con el objetivo de representar temperatura media futura se ajustó el cambio de temperatura incluyendo el efecto del cambio climático mediante análisis de correlaciones y regresiones de acuerdo a Walpole (1999a) y



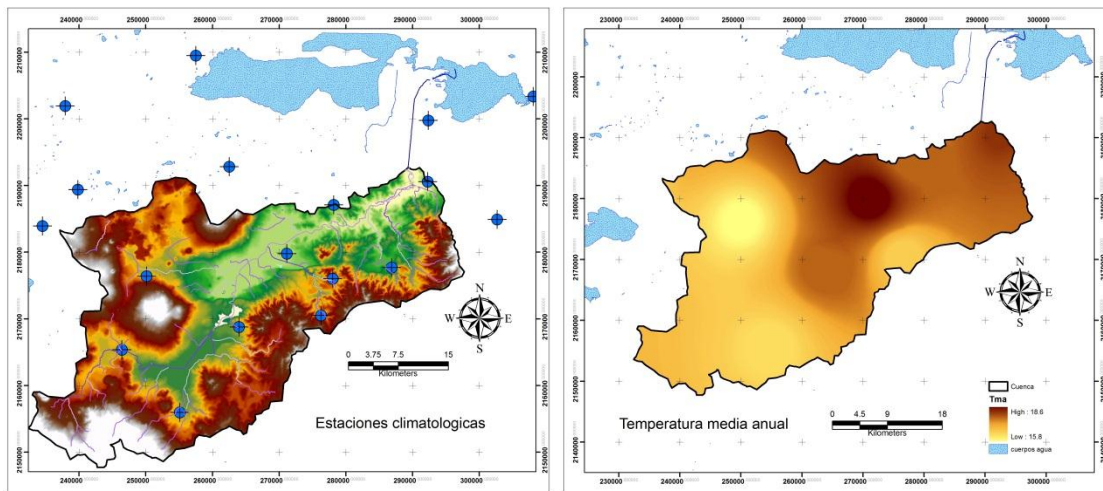
Kuel (2000a), donde se analizó la relación entre la temperatura ambiente y la temperatura del río en las estaciones de calidad del agua.

#### 4 APLICACIÓN A LA ZONA DE ESTUDIO

Las variables climáticas obtenidas a partir de los diferentes escenarios corresponden a las temperaturas para los diferentes periodos de tiempo estimados para el futuro, por lo tanto los registros de los datos climáticos del documento de la base de datos CLICOM (2011) corresponden al periodo de 1975 a 2007, la información contenida en esta base de datos es de orden mensual y corresponde a cada una de las variables climáticas para el periodo antes mencionado. Para los años restantes se obtuvo a partir de datos proporcionados por la CONAGUA (2011).

Las estaciones climatológicas consideradas son 17 (figura 3a), obtenidas de las bases datos CLICOM y CONAGUA (para los últimos años). A partir de los registros históricos se realizó el mapa de temperatura media anual para la cuenca del río grande de Morelia (figura 3b).

Las tablas se manejan de forma idéntica a las figuras con la diferencia de que el título aparece por encima de la tabla.

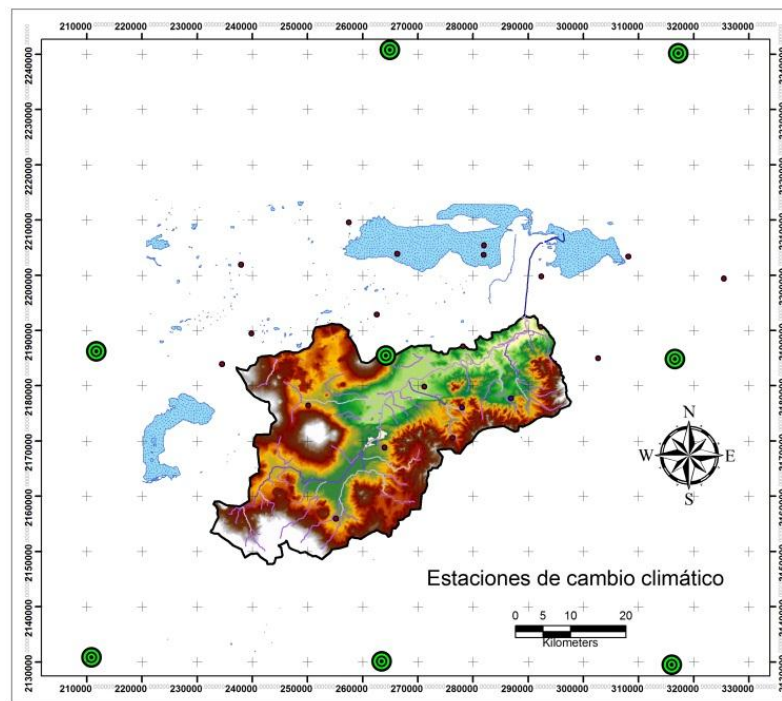


**Figura 3.** Izquierda (a). Estaciones consideradas para la cuenca del río grande de Morelia. Derecha (b) Temperatura media anual.

Los Modelos de Circulación General Atmosfera Océano Atmosfera (MCGAO-A) regionalizados parten de los resultados del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), en su Cuarto Informe de Evaluación (AR4, 2007).

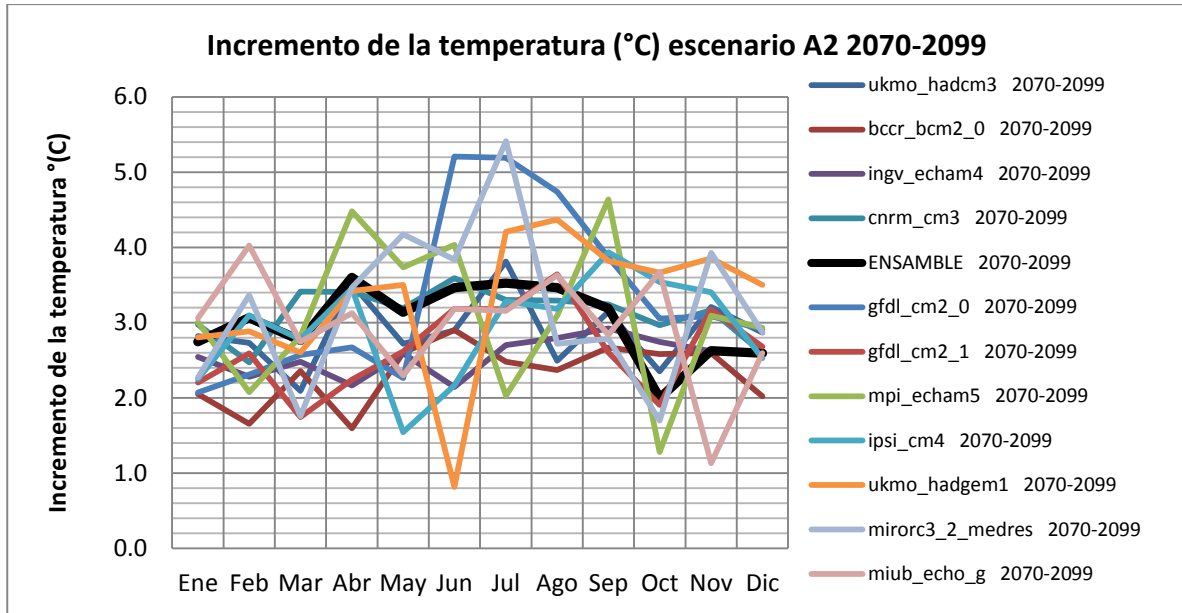
El INE (2007) presenta de más de 20 MCGAO-A usados por el IPCC, con una o más realizaciones cada uno, y con la aplicación del método estadístico, permite que se tengan entre 50 y 90 experimentos de escenarios de cambio climático regionalizados para México, considerando escenarios de emisiones de GEI (A2, A1B, B1, COMMITED) con lo cual se ha podido estimar el rango de cambios en temperatura y precipitación, de la misma forma como lo presentó el IPCC en el AR4.

Los escenarios disponibles presentan cambios mensuales para la precipitación en % y para la temperatura en °C, para el periodo 2000 a 2099. Las estaciones de cambio climático establecidas para México regionalizadas se encuentran a una distancia aproximada de 50 km distribuidos en una malla regular (ver figura 4). Los escenarios disponibles presentan cambios mensuales para la precipitación en % y para la temperatura en °C, para el periodo 2000 a 2099. Para el análisis se establecieron periodos de 30 años ya que se ha considerado que en este periodo de tiempo se alcanza una mayor confianza de ocurrencia de los fenómenos e impactos de cambio climático (INE, 2007). En la figura 5 se presentan los incrementos de temperatura para los años 2070-2099 mediante la línea evolutiva A2, la cual presenta los cambios más drásticos para la zona de estudio.



**Figura 4.** Ubicación de las estaciones de cambio climático utilizadas para la proyección de la temperatura (INE, 2007).

Cuando se tiene la disponibilidad de varios experimentos numéricos que partan de condiciones iniciales ligeramente diferentes, se puede realizar un promedio de los mismos generando a lo que se conoce como un ensamble multimodelo que permita conocer el rango más probable de condiciones futuras del clima en base del análisis de dónde se encuentre la mayor parte de las soluciones. El objetivo de proyectar el clima por ensambles multimodelo es proporcionar una mayor confiabilidad de ocurrencia de los estados futuros del clima.

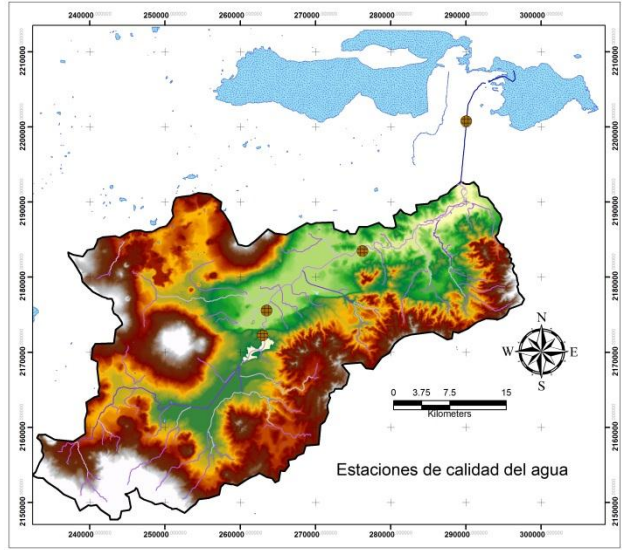


**Figura 5.** Análisis de los resultados de cambio climático regionales para la estación más cercana a la cuenca (INE 2007).

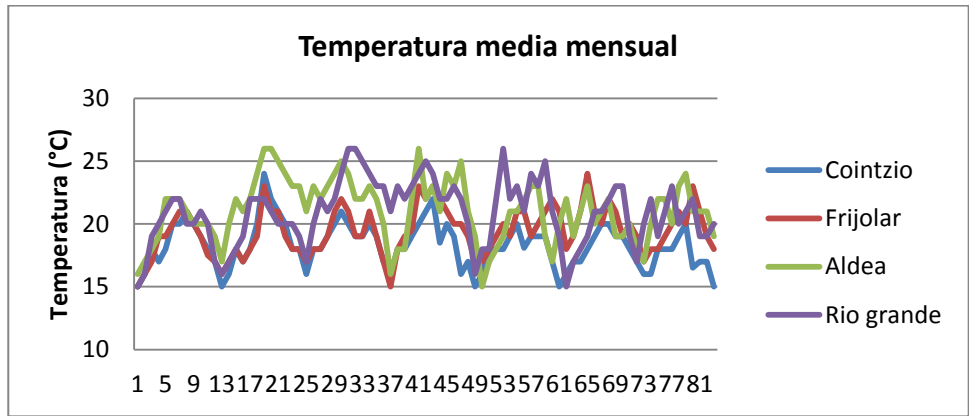
## 2.1 EVIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Las estaciones de calidad del agua para la cuenca del río grande de Morelia son 4, Cointzio que se encuentra aguas abajo de la presa Cointzio, el puente frijolar que se encuentra antes de la ciudad de Morelia, la aldea se encuentra a la salida de Morelia y la estación río grande se encuentra en el tramo final del cauce (ver figura 6).

La información de las temperaturas para las estaciones de calidad del agua fueron obtenidas de la Comisión Nacional del agua. De acuerdo a los resultados del análisis estadístico la temperatura en la cuenca del río grande en la cabecera (Cointzio) no presenta incrementos significativos de acuerdo al análisis de varianza con un grado de confianza del 95%. En el caso de las estaciones siguientes el análisis temporal indica que son significativamente diferentes, el cambio es más notorio y la temperatura del cauce tiene una tendencia con incrementos de 0.3 a 1 °C en los últimos 10 años (figura 7).



**Figura 6.** Estaciones de calidad del agua del río grande de Morelia



**Figura 7.** Temperatura media mensual 2001-2008 de las estaciones de calidad del agua (CONAGUA, 2012).

Al correlacionar los datos de temperatura del cauce con la temperatura ambiente de los últimos 10 años se observó que la temperatura del ambiente es muy similar a la temperatura del río, en la tabla 1 se observan las ecuaciones de las regresiones para las diferentes estaciones.

**Tabla 1.** Ecuaciones obtenidas mediante regresión para las estaciones de temperatura del agua y temperatura ambiente.

Cointzio	$T_{\text{rio}} = 1.091 T_{\text{amb}}$
Frijolar	$T_{\text{rio}} = 0.997 T_{\text{amb}}$
Aldea	$T_{\text{rio}} = 1.021 T_{\text{amb}}$
Rio grande	$T_{\text{rio}} = 1.137 T_{\text{amb}}$

## 2.2 PROYECCIÓN DE LA TEMPERATURA PARA LAS ESTACIONES DE CALIDAD DEL AGUA.

Para el análisis se establecieron periodos de 30 años ya que se considera que en este periodo de tiempo se alcanza una mayor confianza de ocurrencia de los fenómenos e impactos de cambio climático, además de que los escenarios de cambio regionales se realizaron para este mismo periodo de tiempo (INE 2007), para calibración 20 años y 10 años para la validación. Por tales motivos se proponen los siguientes escenarios y climatologías para la temperatura media mensual: A2 2010-2039, A2 2040-2069, A2 2070-2099, A1b 2010-2039, A1b 2040-2069, A1b 2070-2099, B1 2010-2039, B1 2040-2069 y B1 2070-2099. En la figura 8 se presentan los 9 escenarios de anomalías de temperatura en el caso de la estación río grande, se puede apreciar que el escenario A2 estima los mayores incrementos de la temperatura, seguido del B1 el cual tiene cambios pequeños pero siempre positivos, y el escenario A1b por otro lado presenta las anomalías tanto positivas como negativas, lo que implica un promedio anual menor más sin embargo las condiciones serán más extremas. En la tabla 2 se presentan los incrementos de temperatura promedio anuales para las diferentes estaciones de calidad del agua analizadas en el presente trabajo.

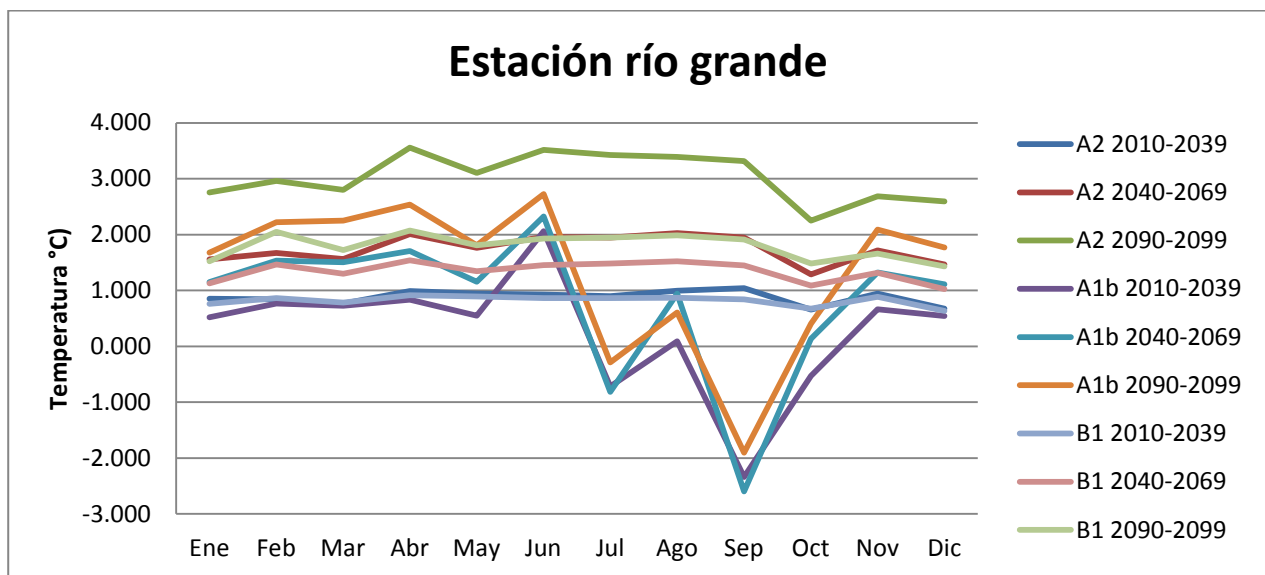
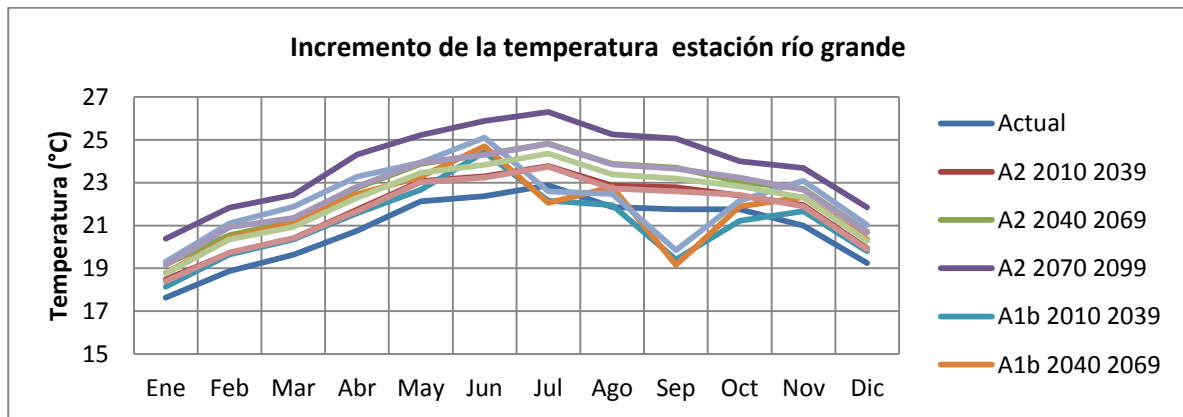


Figura 8. Anomalías de las temperaturas para la estación río grande.

La temperatura de las estaciones de cambio climático se incrementara en promedio anual de 20.7 a 23.9 °C, y en algunos meses alcanzando los 26 °C (figura 9), lo que aunado a la disminución del escurrimiento y al incremento de contaminante, se acentuaran diferentes procesos de degradación y consumo de oxígeno disuelto en el río ocasionando un deterioro aún mayor en el río grande de Morelia así como en el lago de Cuitzeo

**Tabla 2.** Incremento de la temperatura promedio en las estaciones de calidad del agua mediante los diferentes escenarios de proyección.

Estación	A2			A1b			B1		
	2010 2039	2040 2069	2070 2099	2010 2039	2040 2069	2070 2099	2010 2039	2040 2069	2070 2099
Cointzio	0.799	1.586	2.757	0.240	0.719	1.206	0.748	1.223	1.633
El frijolar	0.875	1.738	3.020	0.263	0.788	1.321	0.820	1.340	1.789
La aldea	0.905	1.797	3.124	0.272	0.815	1.367	0.848	1.386	1.850
Río grande	0.768	1.665	2.947	0.618	1.265	2.013	0.722	1.167	1.624



**Figura 9.** Temperatura futura para la estación del río grande para los diferentes escenarios de cambio climático.

### CONCLUSIONES

La línea evolutiva que presentó los mayores cambios fue la A2, seguida de la línea evolutiva B1 donde los incrementos son constantes y siempre positivos, la línea evolutiva A1B que presentó la mayor dispersión mensual, es decir las condiciones extremas para esta línea evolutiva son mayores.

La línea evolutiva a la se asemeja México es la A2, que presenta las condiciones más críticas en cuanto a cambio climático.

## AGRADECIMIENTOS

Instituto Nacional de Ecología por sus publicaciones y disponibilidad en sus bases de datos. Al distrito de riego 020 Morelia-Queréndaro por la valiosa información proporcionada. A la Comisión Nacional del Agua por su cordial atención y la información facilitada.

## REFERENCIAS

- Smith, J. 1987a. *This is a fictive book title*. Elsevier, Amsterdam, pp. 123-124.
- Smith, J., Pettersson, D. and Andersson, C. 1990. This is an example of a fictive journal article name. *Int. J. Remote Sens.* 2:100-110.
- Smith, J. 1987b. This is an example of the title of a proceedings paper. *In The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Kyoto, Japan, Vol. XXVII, Part B1, pp. 123-129.
- Moons, T. 1997. Report on the Joint ISPRS Commission II/IV Workshop "3D Reconstruction and Modeling of Topographic objects", Stuttgart, Germany, <http://www.radig.informatik.tu-muenchen.de/ISPRS/WG-III4-IV2-Report.html> (accessed 28 Sep. 1999).
- INE, 2012a. *Portafolio de medidas de adaptación al cambio climático por efectos en la calidad climática por efectos en la calidad del agua por región hidrológica a partir de definir peligros, estimar la vulnerabilidad y determinar riesgos en los escenarios base y de cambio climático*. Estudio elaborado por Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez J., Fernández A. 2004a. *Cambio climático: una visión desde México*. Primera Edición. . Mexico D.F. México, pp. 100-106.
- IPCC, 2007a. *Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, pp.5-30.
- Hernández B. J., Sánchez Q. S. T., Hernández H. M., 2012. *El cambio climático en la gestión hidrológica subterránea*. XXII Congreso Nacional de Hidráulica Acapulco, Guerrero, México.
- Cárdenas M. J., Sánchez T. G. 2010. *México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación*, pp 26-29.
- Barros V., Menéndez Á., Nagy G. 2005b. *El cambio climático en el río de la plata. Proyecto "Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC)" START-TWAS-UNEP*.
- Hernández 2010a. Apuntes de hidrología superficial. México. 3-5 pp.
- CONAGUA 2012. Base de datos de calidad del agua de la subcuenca del lago de Cuitzeo.
- Walpole R.E., Myers H. R. and Myers S.L. 1999a. *Probabilidad y estadística para ingenieros. Sexta edición*. Prentice-Hall Hispanoamericana; S.A. México.
- Kuehl R.O. 2000a. *Diseño de experimentos*. Segunda Edición. United States pp. 125-147.





# GESTIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO GRANDE DE MORELIA.

Joel HERNÁNDEZ BEDOLLA <sup>a</sup>, Sonia Tatiana SÁNCHEZ QUISPE <sup>b</sup>, Constantino DOMINGUEZ SÁNCHEZ <sup>c</sup>

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Santiago Tapia 403 Morelia Michoacán, email:  
<sup>a</sup>ing\_joel\_hb@hotmail.com, <sup>b</sup>soniatsq@hotmail.com, <sup>c</sup>constantinods@hotmail.com

## RESUMEN

La gestión del agua se enfrenta a grandes retos debido a las crecientes incertidumbres causadas por el cambio climático, el cambio global, por los rápidos cambios socioeconómicos y tecnológicos. Por lo tanto es necesario la comprensión y gestión de los recursos hídricos, además de incluir los efectos de cambio climático. La gestión integrada de los recursos hídricos, se basa en la percepción del agua como una parte integral del ecosistema, un recurso natural, un bien social y económico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización. El impacto del cambio climático sobre el suministro superficial y subterráneo; así como sobre las diferentes demandas de agua (agrícola, urbana e industrial) en la subcuenca del Río Grande de Morelia fue modelada de manera conjunta. Se utilizaron proyecciones del modelo climático ensamble regionalizado a una resolución espacial de 50 km x 50 km para los escenarios de emisiones A2, A1B y B1 en periodos de 30 años (2010-2039, 2040-2069 y 2070- 2099). Los resultados indican incrementos en la demanda agrícola y urbana; disminución en escurrimiento superficial y recarga subterránea. En el Modelo de gestión (AQUATOOL / SIMGES) se analizaron los volúmenes de la presa Cointzio principal fuente de abastecimiento superficial de la subcuenca del río Grande de Morelia, la cual presenta un volumen medio anual de 58.8 hm<sup>3</sup>. Los resultados de las simulaciones incluyendo el cambio climático y manteniendo las mismas reglas de operación de la presa y el sistema, indican decremento en el volumen promedio anual de la presa Cointzio. El escenario A2 presenta disminución del 38.58%, 53.90% y 64.35% para los años 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099 respectivamente. El escenario A1B es menos crítico, los decrementos en la disponibilidad media anual fueron de 18.24%, 38.29% y 38.31% para los años 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099 respectivamente. Finalmente el escenario que presenta menor cambio es el B1, con decrementos del 22.10% (2010-2039), 37.19% (2040-2069) y 37.12% (2070-2099).

**Palabras clave:** Cambio climático, disponibilidad del agua, gestión del agua,

## 1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno que se ha venido desarrollando con características que son únicas. Sus alcances son de escala global y sus impactos a largo plazo se incrementarán ya que involucra interacciones complejas entre procesos naturales, políticos, económicos y sociales a escala mundial.

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja como un estado cambiante de la atmósfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio. En ocasiones puede ocurrir que un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura se desvíe de su valor medio de muchos años, esto se conoce como una anomalía climática o cambio climático en cual es ocasionado principalmente por los gases de efecto invernadero (Hernández, 2007a).

Se denominan gases de efecto invernadero a aquellos capaces de atrapar la radiación infrarroja que escapa de la superficie de la Tierra hacia el espacio y transferirla, en forma de calor, al resto de los gases que forman la atmósfera. El indicador que nos permite conocer las emisiones es el de “Potencial de Calentamiento Global (PCG)”. Este indicador depende de la estructura molecular de los gases de efecto invernadero y de su tiempo de residencia en la atmósfera, antes de ser transformados en otros compuestos. Entre más compleja es su estructura y más grande su tiempo de residencia en la atmósfera, mayor es su PCG en años (Martínez y Fernández, 2004).

Los gases de efecto invernadero se dividen en gases de efecto directo e indirecto. Los de efecto indirecto son aquellos que tienen capacidad para influir en la concentración atmosférica de otros gases de efecto invernadero; por ejemplo, el ozono, el cual además de su carácter oxidante en la atmósfera baja, también puede atrapar radiación infrarroja y filtrar la radiación ultravioleta.

Los gases de efecto invernadero directo son el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) con un 76%, el metano ( $\text{CH}_4$ ) con 13%, el óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ) con 6% y los halocarbonos con 5%. Entre los halocarbonos se encuentran los clorofluorocarbonos y los hidroclorofluorocarbonos. Los compuestos de efecto invernadero indirecto son los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), el monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), el bióxido de azufre y los compuestos orgánicos volátiles no metánicos (Martínez y Fernández, 2004a).

El cambio climático fundamentalmente, es producto de la industrialización y de los patrones de consumo de los países desarrollados y en vías de desarrollo, los cuales han aumentado las concentraciones de los gases de efecto invernadero considerablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y en la actualidad exceden por mucho los valores preindustriales, los cuales se determinaron mediante el análisis de núcleos de hielo acumulados durante miles de años.

Con el objeto de reducir las emisiones de los GEI se crea el Protocolo de Kioto sobre el cambio climático. Es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de los gases que causan el calentamiento global, en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990 (Hernández, 2007a).

Para analizar los impactos en el clima del planeta, se usa un modelo de circulación general de la atmósfera (MCG) en el que se impone una anomalía en la temperatura de superficie del mar y de tierra firme. Las alteraciones o anomalías climáticas que dicho forzante produzca se obtienen comparando con aquella simulación en la que no se impone el forzante. Ésta ha sido la filosofía seguida en el uso de modelos del clima para determinar los impactos de los forzantes. Con los modelos generales de circulación de la atmósfera (MCG) se crean diferentes escenarios de cambio climático.

Un escenario de cambio climático es una descripción espacial y temporal, físicamente consistente, de rangos plausibles de las condiciones climáticas futuras, basada en un cierto número de suposiciones y en la actual comprensión científica de nuestro sistema climático (Hernández, 2007a).

En las evaluaciones de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos se utilizan diferentes metodologías para la definición de escenarios climáticos entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

Los escenarios del Special Report on Emissions Scenarios (SRES) Escenarios del Panel Intergubernamental del cambio climático (IPCC). Estos escenarios presentan cuatro líneas evolutivas (A1, A2, B1 y B2) y para cada línea evolutiva, se han desarrollado varios escenarios distintos basados en diferentes planteamientos de los modelos como: los escenarios socioeconómicos, de cambio de uso en la tierra, de incremento de población, de concentración de los gases de efecto invernadero, ambientales (temperatura y precipitación), de incremento en el nivel del mar.

En la tabla 1 se observan los diferentes escenarios SRES en los cuales se observa la diferencia en crecimiento económico, introducción de tecnologías nuevas y limpias, así como el uso de combustibles fósiles y no fósiles, donde la línea evolutiva A1 y A2 son las que presentan las condiciones para incrementar el cambio climático, mientras que la línea evolutiva B2 se encuentra en un rango medio y la B1 con los menores efectos (IPCC, 2001a).

La base de la reducción de escala estadística es que existen relaciones entre el clima local y el de gran escala (dinámicas o estadísticas), que permiten determinar condiciones locales a partir de información de baja resolución, y que estas relaciones permanecen válidas aún bajo condiciones climáticas futuras. Las técnicas estadísticas de reducción de escala se refieren a métodos en los que los cambios regionales o locales, correspondientes a procesos de menor tamaño que la resolución espacial del MCG, son calculados como función del clima de gran escala.

**Tabla 1.** Características conceptuales para los diferentes escenarios SRES establecidos por el IPCC.

Línea Evolutiva	Crecimiento económico	Crecimiento de población mundial	Introducción de tecnologías nuevas y limpias	Uso de Combustibles fósiles	Uso de combustibles no fósiles
A1	Rápido	Máx. a mediados de siglo	Rápida	Si	Si
A1FI	Rápido	Máx. a mediados de siglo	Rápida	Si	No
A1T	Rápido	Máx. a mediados de siglo	Rápida	No	Si
A1B	Rápido	Máx. a mediados de siglo	Rápida	Si	Si
A2	Lento	Rápido y continuo crecimiento	Lenta	Si	No
B1	Rápido	Máx. a mediados de siglo	Muy rápida	No	Si
B2	Intermedio	Progresivo continuo crecimiento	Lenta	Si	Si

Los escenarios de cambio climático regional, se pueden obtener a través de técnicas de reducción de escala (downscaling) estadísticas o dinámicas.

En las técnicas estadísticas de reducción de escala las variables del clima regional o local se obtienen generando un modelo estadístico que las relaciona con las variables de gran escala del modelo de circulación general. Las técnicas dinámicas son los Modelos de Clima Regional. Estos modelos son similares a los modelos de clima global pero de mayor resolución espacial y por lo tanto contienen una mejor representación de elementos dentro del dominio de interés (Orlando, 2010a).

El esquema CPT permite aplicar las técnicas estadísticas de reducción de escala de regresión por componentes principales (PCR) así como diferentes análisis de correlación, estandarizar los campos de los

MCG, muestrear los datos, re-calibrar las ecuaciones, normalizar los campos, sustituir valores faltantes, entre otros (Magaña y Caetano, 2007a).

## 2 METODOLOGÍA

La metodología para la estimación de los efectos del cambio climático requiere de una evaluación integrada de los recursos hídricos, lo cual hace necesario la utilización de varios modelos de simulación, anidados secuencialmente para la obtención de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos. El uso de estos modelos es debido a la compleja interacción entre los diferentes elementos que forman los sistemas de recursos hídricos hablando cuantitativamente y cualitativamente.

Para llegar a estos resultados primeramente se debe conocer el área de estudio lo más detallada posible y contar con registros históricos confiables de las diferentes variables climáticas y tener bases de datos de buena calidad, para tener una mayor confiabilidad de los resultados que se obtengan.

Una vez teniendo las variables climáticas para el área de estudio, se deben de analizar los diferentes resultados de los modelos de circulación general y sus respectivas regionalizaciones, ya que estas tienen una mayor calidad de los resultados de los diversos escenarios climatológicos. Los resultados principales tanto de los modelos de circulación general como de los modelos regionales son la temperatura y la precipitación.

Es de vital importancia para el estudio la correcta selección de los escenarios, ya que, de esto dependerán los resultados de todos los procedimientos siguientes. Los escenarios también se deben elegir en base a las diferentes condiciones que se pretendan analizar.

Una vez obtenidos los escenarios de cambio climático para el área de estudio procedemos a realizar la simulación del ciclo hidrológico mediante el modelo lluvia escurrimiento, a escala temporal mensual. Este modelo nos permitirá observar de manera estacional como se reducirán los recursos hídricos en las distintas componentes del sistema de recursos hídricos, ejemplos pueden ser: aportaciones al sistema superficial, recargas al sistema subterráneo, coeficiente de escurrimiento, humedad de las capas superiores de suelo, entre otros (Témez, 1977b).

Simultáneamente a la obtención de los escurrimientos superficiales y recarga al acuífero se puede hacer un análisis de los cultivos predominantes en la zona y los cuales se agrupan por demanda agrícola (Módulos de riego), es decir un conjunto de cultivos que son abastecidos por una o varias redes de distribución, los cuales tienen cercanía en su posición geográfica (ubicación). Las demandas agrícolas se obtienen para periodos actuales y para los diferentes escenarios de cambio climático futuros, utilizando para ellos la metodología propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos (FAO, 2009a).

De igual manera a los procesos anteriores se obtienen los incrementos de las demandas urbanas en base a los escenarios de incremento de población, considerados en los MCG (considerando de manera singular cada población o localidad, debido a que ninguna de las poblaciones crece de la misma manera) y a la metodología desarrollada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para proyección de la población y demanda (CONAGUA, 2007a).

Una vez obtenidos los escurrimientos superficiales y las recargas al acuífero se procede a hacer la simulación subterránea de los acuíferos que intervengan en el área de estudio, incluyendo todas sus acciones elementales (bombeos y recargas), actuales y futuras. La evolución del estado del acuífero se puede obtener en la simulación del sistema subterráneo, o en el modelo de gestión integrada de los recursos hídricos.

Posteriormente se procedió a calibrar el funcionamiento hidráulico mensual del sistema de recursos hídricos; para esto es necesario conocer los volúmenes del embalse, las demandas urbanas, agrícolas, industriales, extracciones del acuífero, así como las aportaciones al sistema. Todos estos datos deben ser lo más actuales posibles ya que en base a ellos se hace una calibración del sistema hidráulico tanto superficial como subterráneo. Posteriormente se analiza mediante los modelos de gestión de los recursos hídricos SIMGES para reproducir la gestión en los sistemas de recursos hídricos y evaluar las garantías y fallos que se producen en las demandas urbanas y agrícolas, y en los caudales ecológicos y reservas ambientales establecidas en dichos sistemas. De esta manera pueden conocerse las repercusiones futuras que tendría la disminución de los recursos hídricos en el sistema de explotación (Andreu *et. al.*, 2007b).

Los diversos modelos con los que se realizó en el presente trabajo han sido utilizados en España y otras partes del mundo los cuales han sido validados en los últimos años por su utilización cotidiana tanto en los ámbitos de planificación como de gestión de cuencas.

### 3 ZONAS DE ESTUDIO

Las zonas de estudio son la cuenca del Río Grande de Morelia, Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro y acuífero Morelia-Queréndaro. Se ubica en la Región Hidrológica No. 12, zona B también pertenece a la Comisión de Cuenca Lago de Pátzcuaro desde 2004.

Se ubica en la porción noreste del estado de Michoacán, entre los paralelos 19° 26' y 20° 08' de latitud norte y los meridianos 100° 38' y 101° 29' (figura 1).

Geopolíticamente las zonas de estudio abarcan la totalidad de los municipios de Cuitzeo, Huandacareo, Santa Ana Maya, Copándaro, Tarímbaro, Álvaro Obregón; de manera parcial los municipios de Morelos, Chucándiro, Morelia, Quiroga, Lagunillas, Acuitzio, Charo, Zinapécuaro, Queréndaro e Indaparapeo; y pequeñas porciones de los municipios de Pátzcuaro, Huiramba y Huaniqueo.

El acuífero Morelia-Queréndaro pertenece al Organismo de Cuenca VIII Lerma-Santiago-Pacífico, y es jurisdicción territorial de la dirección local de Michoacán. Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones de cuatro decretos publicados en el Diario Oficial de la Federación en los años 1956, 1964, 1975 y 1987 (CONAGUA 2009a)

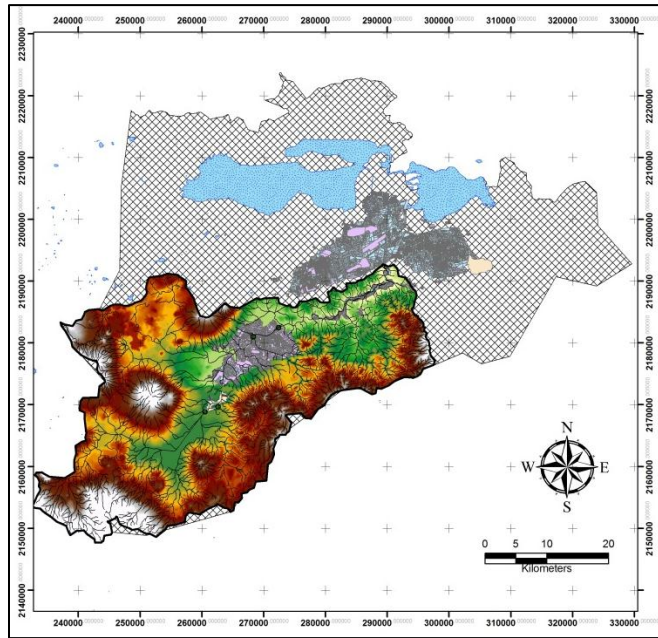


Figura 1. Ubicación de la cuenca del Río Grande de Morelia, Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro y acuífero Morelia-Queréndaro (CONAGUA, 2009a y 2009b).

#### 4 RESULTADOS

Se han analizado todos los resultados de cambio climático regionales para las zonas de estudio, con los siguientes escenarios analizados: el escenario A2, que se refiere a las condiciones más críticas de cambio climático, el escenario B1 establece los cambios climáticos mínimos y el escenario A1B que presenta condiciones intermedias de cambio climático, es decir de mayor impacto que las condiciones del escenario B1 y de menor impacto que las condiciones del escenario A2.

Para el análisis se establecieron periodos de 30 años ya que se considera que en este periodo de tiempo se alcanza una mayor confianza de ocurrencia de los fenómenos e impactos de cambio climático, además de que los escenarios de cambio regionales se realizaron para este mismo periodo de tiempo, para calibración 20 años y 10 años para la validación (Magaña y Caetano, 2007a).

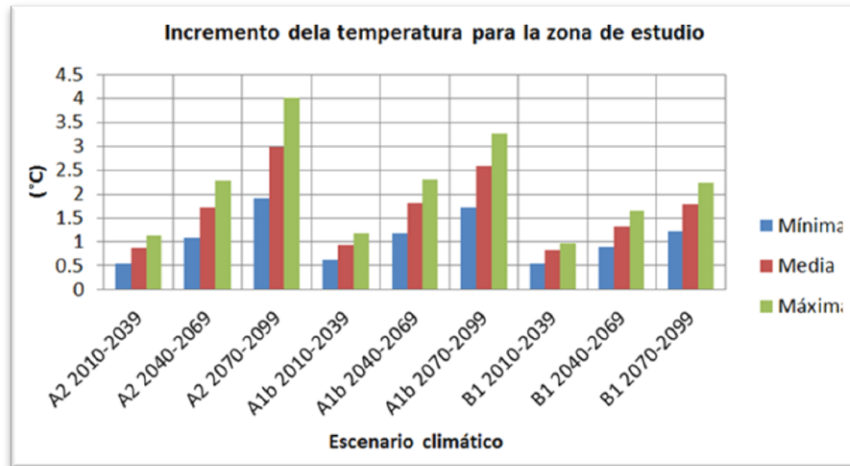


Figura 2. Incremento en la temperatura para la zona en estudio (Magaña y Caetano, 2007a).

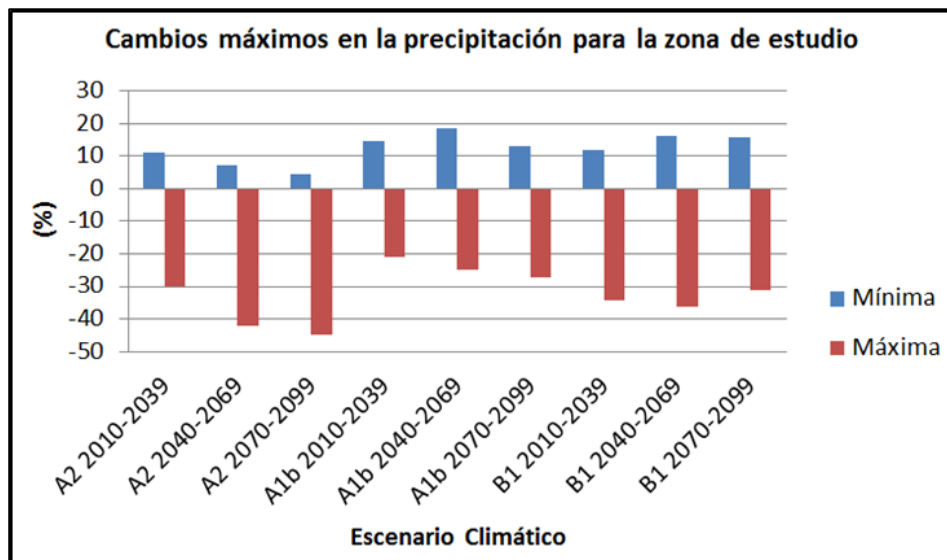


Figura 3. Cambios en la precipitación para la zona en estudio (Magaña y Caetano, 2007a).

Por tales motivos se proponen los siguientes escenarios y climatologías para la temperatura media mensual y para la precipitación total: escenario actual (1980-2009), A2 2010-2039, A2 2040-2069, A2 2070-2099, A1b 2010-2039, A1b 2040-2069, A1b 2070-2099, B1 2010-2039, B1 2040-2069 y B1 2070-2099.

En todos los casos la temperatura (T) aumenta (figura 2) y la precipitación (P) disminuye y presenta pequeños incrementos (figura 3). Con el incremento de la temperatura se incrementa la evapotranspiración (ETP) y el

descenso de la precipitación (P) ocasiona que los escurrimientos (Esc.) disminuyan de manera importante en la mayoría de los meses del año. Los meses que se ven más afectados son los meses de julio, agosto, septiembre y octubre.

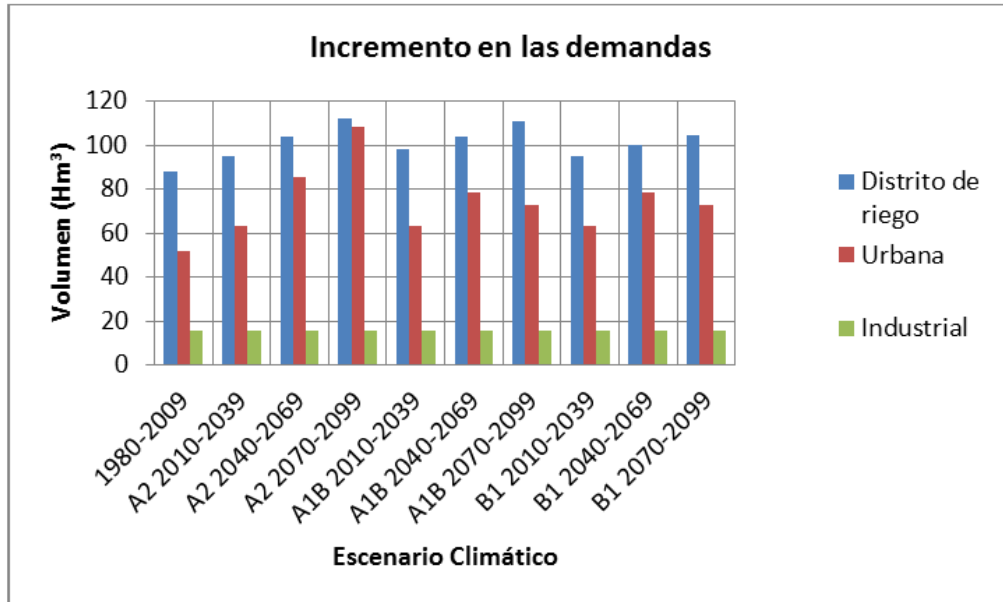
En la tabla 2, se puede observar que las consecuencias de los cambios de temperatura y precipitación afectan negativamente el escurrimiento superficial, hasta en un 30.61% y la recarga subterránea hasta un 30.49%, esto en las condiciones mas criticas (A2 2070-2099).

**Tabla 3.** Cambios en los componentes del ciclo hidrológico medios anuales para los componentes en el ciclo hidrológico.

Escenario	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	R (Hm <sup>3</sup> )	Esc. (Hm <sup>3</sup> )
1980-2009	17.5	804.2	807.0	161.7	223.0
A2 2010-2039	18.4	748.6	846.4	133.3	178.5
A2 2040-2069	19.2	717.5	891.9	115.6	153.1
A2 2070-2099	20.4	683.7	973.5	112.2	155.0
A1B 2010-2039	17.8	788.5	821.5	157.2	222.2
A1B 2040-2069	18.3	779.3	845.0	151.3	210.1
A1B 2070-2099	18.8	763.9	872.9	143.2	198.3
B1 2010-2039	18.3	779.6	843.6	149.5	209.2
B1 2040-2069	18.8	769.4	869.5	143.0	194.0
B1 2070-2099	19.2	798.5	893.0	152.8	212.6

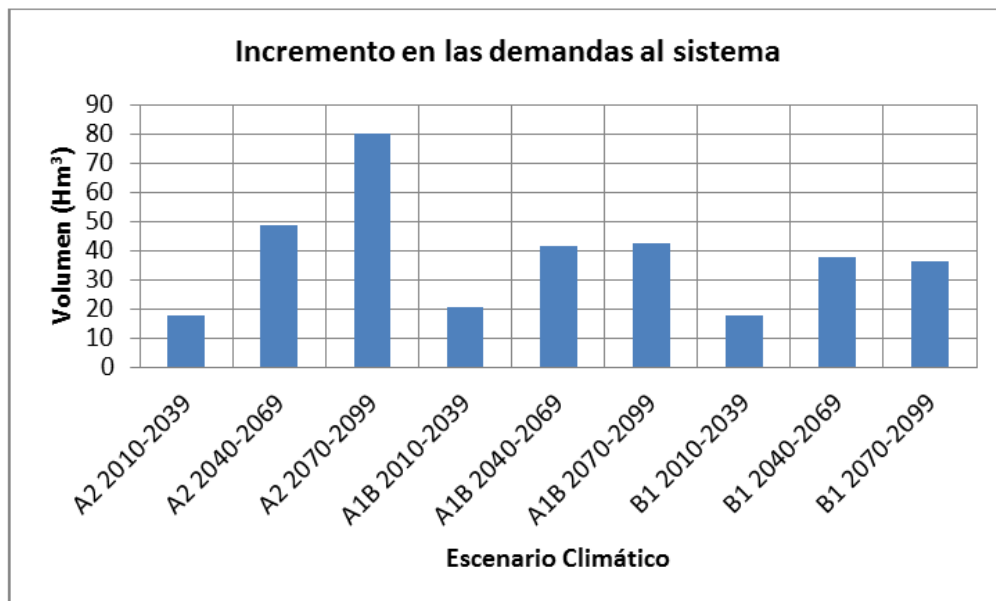
El distrito de riego incrementará su demanda de manera importante, que es abastecida por gravedad y bombes; para los años 2005-2010 es de 88.27 hm<sup>3</sup>/año, esta demanda se incrementará debido al cambio climático afectando en mayor medida los meses que se demanda la mayor cantidad de agua, que concuerdan con los meses más cálidos y en los que la precipitación es escasa (marzo-mayo). Para el escenario A2 2070-2099 se incrementará en un 33.25% (figuras 4 y 5).





**Figura 4.** Incremento en las diferentes demandas (en volumen) en para la zona de estudio, y para los diferentes escenarios de cambio climático.

Para analizar la demanda industrial, es necesario realizar un estudio más detallado de la industria, para el caso de esta demanda se considera constante debido a que no hay disponibilidad del agua, por lo tanto es difícil la creación de empresas que utilicen este recurso.



**Figura 5.** Incremento de la demanda (en volumen), en el sistema para los diferentes escenarios de cambio climático.

Finalmente se pasa al sistema de gestión, donde se incorporaran las variables obtenidas mediante Aquatool (sistema de apoyo a la decisión para la gestión de cuencas complejas), el cual ha sido desarrollado por el departamento de Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia; este sistema permite crear los esquemas de simulación para la cuenca en estudio, así como visualizar las reglas de operación del mismo (Andreu *et al.*, 2007b)

Aquatool cuenta con el módulo SIMGES (simulación de gestión), que es el que permite hacer la gestión del sistema así como evaluar múltiples elementos. El suministro de agua en la cuenca se evalúa con los índices de garantías y fallos que se producen en las demandas urbanas, agrícolas, industriales, entre otras.

Calcular las necesidades hídricas en cantidad, espacio y tiempo implica disponer de un sistema de recursos hídricos, que permita hacer una distribución de las aportaciones a la demanda. Para esto se realizó el esquema de la cuenca del río Grande de Morelia, adaptado para la simulación; está compuesto por embalses, tramos de río con recarga al acuífero, demandas consuntivas, acuífero de autovalores y nodos que representan las tomas, confluencias y bifurcaciones (figura 6).

Una vez realizado el esquema se realiza una simulación y se calibra; para nuestro caso se calibró en el embalse Cointzio (figura 7). Posteriormente se procedió a hacer las simulaciones para los diferentes escenarios de cambio climático; el sistema de gestión se verá afectado principalmente por el cambio climático.

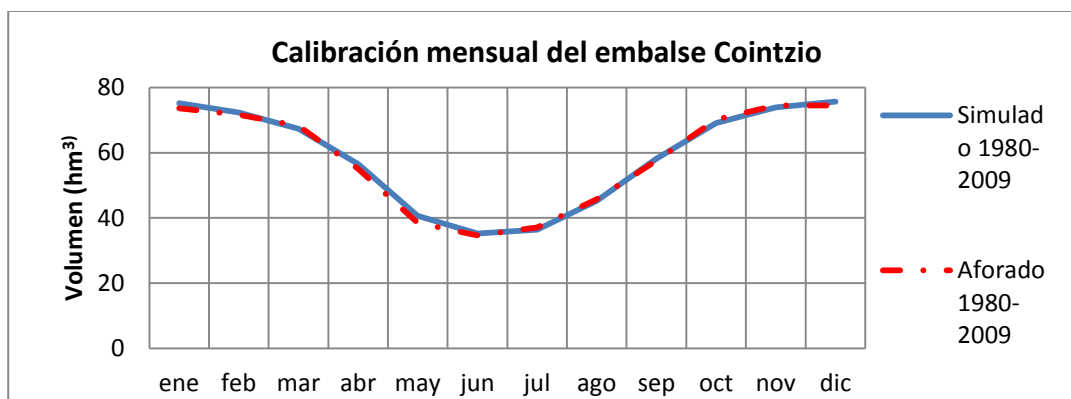
Después de las simulaciones, incluyendo el cambio climático, se puede observar que el efecto del incremento de las demandas y los descensos en las aportaciones de manera conjunta se vuelven de gran importancia a diferencia de hacer un análisis aislado. El embalse Cointzio se verá afectado en la disminución del volumen con respecto al volumen histórico que es de 58.8 hm<sup>3</sup> en promedio (figura 8). El escenario A2 presenta disminución del 38.58%, 53.90% y 64.35% para los años 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099 respectivamente. El escenario A1B es menos crítico, los decrementos en la disponibilidad media anual fueron de 18.24%, 38.29% y 38.31% para los años 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099 respectivamente. Finalmente el escenario que presenta menor cambio es el B1, con decrementos del 22.10% (2010-2039), 37.19% (2040-2069) y 37.12% (2070-2099).

Debido a que las reglas de operación del sistema no cambiaron, además de reducirse el volumen de agua en el embalse Cointzio se incrementó el déficit en el sistema para todos los escenarios de cambio climático. Para los escenarios planteados en la figura 9 se observa el incremento en el déficit de los diferentes escenarios de cambio climático, considerando que los suministros a las diferentes demandas permanecen, de la misma manera como en la actualidad.

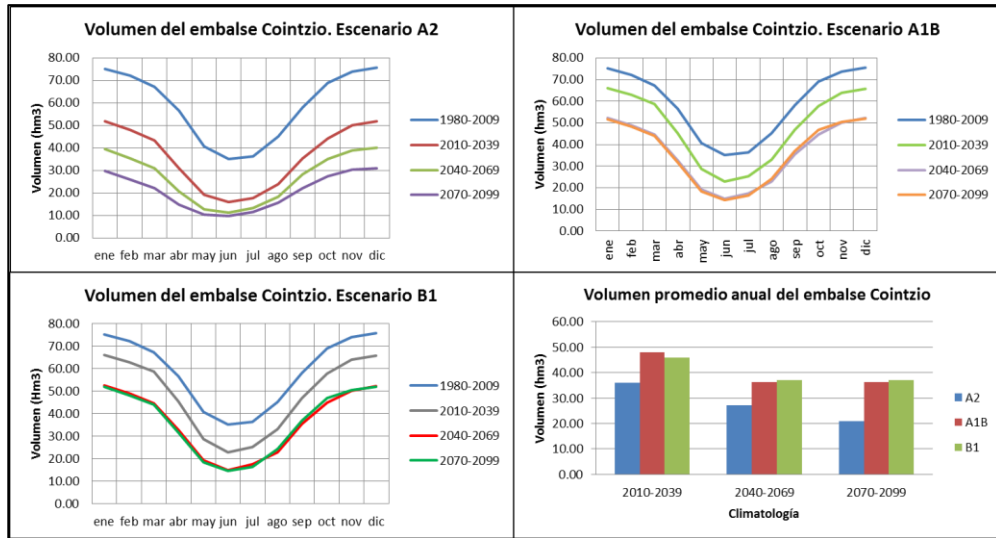


**Figura 6.** Esquema de simulación para el sistema de la cuenca del río Grande de Morelia, el distrito de riego 020 Morelia-Queréndaro y el acuífero Morelia-Queréndaro.

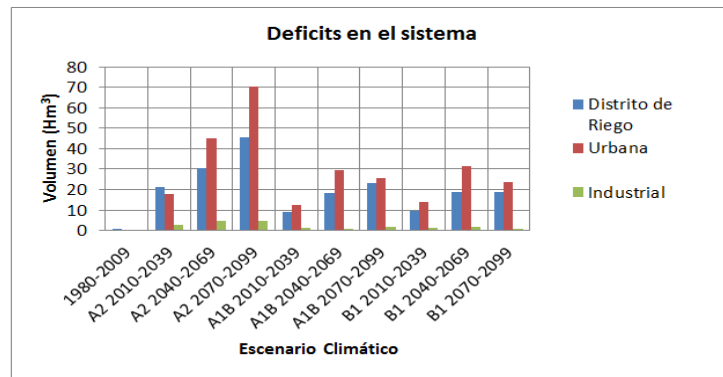
El escenario A2 es el que presenta los mayores déficits alcanzando los 121 hm<sup>3</sup> para los años 2070-2099, seguido del A1B 2070-2099 con un déficit de 50 hm<sup>3</sup> y finalmente el B1 2070-2099 con un déficit de 43 hm<sup>3</sup>. En el caso del escenario B1 presenta su mayor déficit en los años 2040-2069 con un déficit de 53 hm<sup>3</sup>.



**Figura 7.** Volúmenes mensuales aforados y simulados para los años 1980-2009 para el embalse Cointzio.



**Figura 8.** Volumen medio mensual en la presa Cointzio incluyendo cambio climático



**Figura 9.** Déficits en promedio anual para las diferentes demandas del sistema de la cuenca del río Grande, el distrito de riego 020 Morelia-Queréndaro y el acuífero Morelia-Queréndaro.

## 5 CONCLUSIONES

Si se analiza nuevamente la tabla 1, se puede observar que las condiciones de este escenario, son las condiciones que mas se asemejan a la actualidad por tal motivo es necesario hacer cambios en todo nuestro estilo de vida y en el uso de tecnologías para poder reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y que los cambios producidos por el cambio climático sean de menor importancia.

Debido al cambio climático, las diferentes variables climáticas se verán afectadas de manera importante como el incremento de la temperatura y la disminución de la precipitación, y por lo tanto es importante desarrollar estudios de manera integral que permitan planificar los recursos para el futuro.

## REFERENCIAS

- Andreu, J. Solera, A. Paredes, J. 2007<sup>a</sup>. *AQUATOOLDMA Entorno de desarrollo de sistemas de ayuda a la decisión en materia de planificación de la gestión de cuencas hidrográficas incluyendo utilización conjunta y criterios de calidad de aguas*. Manual de usuario Versión 1.00. UPV, Valencia (España), pp. 1-98.
- Andreu, J. Solera, A. Capilla, J.Ferrer, J. 2007<sup>b</sup>. *Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta*. Versión 3.00. Manual del Usuario. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia (España), pp. 1 - 106.
- CONAGUA 2007<sup>a</sup>. *Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento, datos básicos*. México D.F (México), Diciembre del 2007, pp. 14 – 35.
- CONAGUA 2009<sup>a</sup>. *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Morelia-Queréndaro*. Subdirección de gerencia técnica, Gerencia de aguas subterráneas. México D.F. (México), Diciembre, pp. 15 - 27.
- CONAGUA 2009<sup>b</sup>. *Desarrollo de un modelo de sistema de información geográfica y revisar e identificar las parcelas que requieren actualización en el padrón de usuarios del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro*. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola Gerencia de Distritos de Riego. Michoacán (México), Octubre 2009<sup>b</sup>, pp 25 - 35.
- FAO 2009<sup>a</sup>. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio de la FAO Riego y Drenaje 56 2009. Roma, Italia 252pp.
- Hernández, L. 2007<sup>a</sup>. *Efectos del cambio climático en los sistemas complejos de recursos hídricos*. Aplicación a la cuenca del Júcar. Tesis doctoral. Valencia (España), pp. 7 - 20 y 42 - 60.
- IPCC 2001<sup>a</sup>. *Tercer informe de evaluación. La base científica. Grupo I del Tercer Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático*. Cambridge University Press, Cambridge (Reino Unido), pp. 25 - 35.
- Martínez J. y Fernández B, A. 2004<sup>a</sup>. *Cambio climático una visión desde México*. Secretaria del medio ambiente y recursos naturales e instituto nacional de ecología. México D.F. (México), pp. 15 - 20.
- Magaña, V. Y Caetano, E. 2007<sup>a</sup>. *Pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por estado y por sector*. UNAM. México D.F. (México), Diciembre 2007, pp. 2 - 8.
- Orlando, M. R 2010. *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*. México D.F. (México), pp 20 - 40.
- Témez, J. 1977<sup>b</sup>. *Modelo matemático de transformación precipitación-aportación*, España, 1977 pp 22 - 36.
- UPV 1997<sup>a</sup>. *Módulo para el preproceso y modelación de acuíferos departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente*. Valencia (España), pp. 1 - 43.



# RIESGOS CLIMÁTICOS, MEDIOS DE VIDA Y ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RÍO HUEHUETÁN, CHIAPAS

Laura Elena RUIZ MEZA (1), José Luis ARELLANO MONTERROSAS (2)

(1) Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. email: laura.ruiz@unicach.mx

(2) Comisión Nacional del Agua. Organismo de Cuenca Frontera Sur.  
email: jose.arellanoa@conagua.gob.mx

## Resumen

En el artículo se examinan los resultados de la aplicación de la herramienta de análisis CRiSTAL (Community-based Risk Screening Tool - Adaptation & Livelihoods) con la participación de campesinos(as) en dos microcuencas de la cuenca del río Huehuetán, localizada en la región Soconusco, al sur de Chiapas. La cuenca se caracteriza por su alto nivel de pobreza, aguda erosión hídrica de los suelos y elevada exposición y sensibilidad a eventos hidrometeorológicos extremos. Mediante métodos participativos, se identificaron tres importantes riesgos por fenómenos climáticos a los que está sometida la población de la parte media y alta de la cuenca: lluvias extremas, fuertes vientos y sequías prolongadas. Se identifican los impactos de tales fenómenos en los recursos de los medios de vida de la población, y se analizan las estrategias que ensayan los hogares campesinos para responder y adaptarse a los efectos de los fenómenos climáticos. Por último, se formulan algunas propuestas para fortalecer las capacidades locales de adaptación a la variabilidad climática y eventos extremos.

Palabras clave: vulnerabilidad social, cambio climático, medios de vida, capacidad adaptativa, gestión de riesgos, manejo de cuencas, Chiapas.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el análisis de la vulnerabilidad social al cambio climático continúa siendo dominante el enfoque físico y ambiental, perspectiva que pone énfasis en las dimensiones de los fenómenos climáticos extremos y descuida los procesos sociales de construcción del riesgo que hacen propicia la ocurrencia de desastres y que influyen significativamente en la vulnerabilidad diferencial de los grupos sociales. Los actores sociales tienden a ser considerados como víctimas pasivas de los desastres, los cuales son concebidos como exógenos a la sociedad. Además, tal perspectiva no aborda la vulnerabilidad de los modos de vida de las poblaciones y las diversas estrategias que son utilizadas por los hogares para reducir los impactos de los desastres. Lo mismo sucede con los proyectos ambientales que se impulsan en localidades con medios de vida sensibles al clima, pues con frecuencia se diseñan sin tomar en cuenta los efectos de la variabilidad climática en las comunidades más vulnerables.

Con el fin de contribuir a contrarrestar esta tendencia, se aplica la herramienta de análisis CRiSTAL (*Community-based Risk Screening Tool-Adaptation & Livelihoods*) (IISD, UICN, SEI,

*Intercooperation, 2009*)<sup>1</sup> con la participación de la población campesina de dos microcuencas de la cuenca media y alta del río Huehuetán, localizada en la región Soconusco, al sur de Chiapas; cuenca que se caracteriza por sus altos niveles de vulnerabilidad social y ambiental frente a los fenómenos climáticos, y en la que se ha impulsado desde 2008 un proyecto de transferencia de tecnología para la ejecución de prácticas de conservación del suelo y agua con la coordinación del Organismo de Cuenca Frontera Sur de la Comisión Nacional del Agua. Como herramienta metodológica, CRiSTAL fue diseñada para facilitar la identificación comunitaria de riesgos climáticos, sus impactos sobre los medios de vida y el análisis de las acciones de adaptación. Busca contribuir a la toma de decisiones para mejorar los efectos de los proyectos en la capacidad local de adaptación a la variabilidad climática y al cambio climático. Los resultados del ejercicio realizado con esta herramienta metodológica se examinan en el presente artículo.

## 2. VULNERABILIDAD DE LOS MEDIOS DE VIDA AL CAMBIO CLIMÁTICO

En un reciente informe, el IPCC (2012) asume que la exposición a fenómenos climáticos y la vulnerabilidad de los sistemas sociales son los principales determinantes del aumento del riesgo y de los impactos de los desastres, entendidos como construcciones sociales e históricas. La aguda vulnerabilidad de la población junto a la presencia cada vez más frecuente de fenómenos climáticos atípicos, atribuibles al cambio climático y a la variabilidad climática, está provocando severos daños sociales, incluso si estos fenómenos no son extremos (Cardona, 2012). La vulnerabilidad social es un concepto fundamental en el análisis de las capacidades locales para responder y adaptarse al cambio climático. Se define como la predisposición *o susceptibilidad física, económica, política y social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir daños, en caso de que un fenómeno desestabilizador de origen natural o antrópico se manifieste* (Cardona, 2001).

Los impactos de la variabilidad climática no se distribuyen de manera uniforme, quienes tienen menos recursos de medios de vida tenderán a ser más vulnerables y poseer menor capacidad para responder y adaptarse. *Al disminuir la disponibilidad de los recursos, también disminuye la seguridad de los medios de vida de las comunidades, así como las capacidades sociales para responder ante tensiones ambientales, satisfacer necesidades básicas y salir de la pobreza.*

Un análisis adecuado sugiere diferenciar entre capacidad de respuesta y capacidad de adaptación (Birkmann *et al*, 2009). Capacidad de respuesta hace referencia a la capacidad de las personas, organizaciones y sistemas para hacer frente, administrar y superar las condiciones adversas utilizando los recursos, las habilidades y las oportunidades disponibles para lograr un funcionamiento básico en el corto y mediano plazo (IPCC, 2012). La capacidad de adaptación es la combinación de las fortalezas, los atributos y los recursos disponibles de un individuo, comunidad, sociedad u organización que se utilizan para ajustarse a las condiciones cambiantes del entorno, reducir los impactos adversos y aprovechar las oportunidades beneficiosas (IPCC, 2012). Como lo señala Adger (2006), conviene diferenciar entre los ajustes de corto plazo y las medidas de largo

---

<sup>1</sup> CRiSTAL fue elaborada en forma conjunta por el Instituto Internacional para el Desarrollo Sustentable (IISD), la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (IUCN), Stockholm Environment Institute (SEI), e Intercooperation (Natural Resource Management, Rural Economy Local Governance and Civil Society), con base en el modelo de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y el Marco de Medios de Vida Sostenibles (SLF). En este estudio se aplicó la versión 4 publicada en 2009. La versión 5 fue publicada recientemente.



alcance, así como examinar si las acciones de respuesta formarán parte de las estrategias de adaptación a largo plazo. Las estrategias de respuesta no necesariamente podrían implicar cambios en los sistemas sociales con el fin de aumentar su resiliencia.

Uno de los factores más importantes que condicionan la capacidad de respuesta y adaptación de los individuos, hogares y comunidades es su acceso y control sobre los recursos necesarios para garantizar sus estrategias de vida. En tal sentido, el marco de análisis de los Medios de Vida Sostenibles (MVS) resulta útil para identificar la vulnerabilidad social y la capacidad adaptativa, pues permite entender la combinación de los recursos utilizados y las actividades realizadas por los hogares para vivir y lograr los resultados que desean en sus vidas. Un medio de vida comprende las capacidades, los recursos (naturales, físicos, financieros, humanos y sociales) y las actividades necesarias para ganarse la vida. Un medio de vida es sostenible cuando puede sobrellevar y recobrase de tensiones e impactos, y mantiene y mejora sus capacidades y recursos, tanto en el presente como en el futuro, sin deteriorar la base de sus recursos (DFID, 1999). Las estrategias de vida son la gama y combinación de actividades que realizan y las decisiones que toman las personas para lograr sus objetivos de vida. La habilidad para ensayar diferentes estrategias de vida depende de los recursos que posean las personas para alcanzar su bienestar, cuyo acceso y control está mediado por las instituciones sociales. En efecto, tanto las políticas públicas, como las instituciones sociales y las estructuras de poder ejercen influencia en el acceso y control a los recursos (CARE, 2009). Al comprender la dinámica de los medios de vida de las poblaciones se puede identificar cómo les afecta –y afectará— el cambio climático, cómo podrían responder con sus recursos y capacidades y cuáles necesitarían fortalecer para reducir su vulnerabilidad.

### 3. ¿QUÉ ES CRISTAL?

*CRiSTAL es una herramienta diseñada para facilitar la identificación comunitaria de riesgos climáticos y sus impactos sobre los medios de vida y las acciones de adaptación. Es un instrumento útil para revisar los efectos de un proyecto de intervención sobre los recursos que determinan la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación de las poblaciones. Asimismo, busca facilitar la incorporación del enfoque de reducción de riesgos y la adaptación al cambio climático en los proyectos de conservación y desarrollo (IISD, UICN, SEI e Intercooperation, 2009; IISD, 2012). La herramienta está organizada en dos módulos, cada uno con un conjunto de preguntas clave que guían la reflexión, misma que se va registrando en una base de datos diseñada en Microsoft Excel. El primer módulo llamado “Sintetizar información sobre clima y medios de vida”, pretende ayudar a recopilar y organizar información acerca del contexto climático y de los medios de vida en el área de los proyectos por medio de métodos participativos.*

#### **MÓDULO 1. SINTETIZAR INFORMACIÓN SOBRE CLIMA Y MEDIOS DE VIDA**

##### **¿Cuál es el contexto del clima en el área del proyecto?**

- ¿Cuáles son las amenazas actuales relacionadas con el clima que afectan el área del proyecto?
- ¿Cuáles son los impactos de estas amenazas en los medios de vida de las poblaciones?

- ¿Qué estrategias de respuesta se utilizan para enfrentar los impactos?

#### **¿Cuál es el contexto de los medios de vida?**

- ¿Qué recursos son importantes para los medios de vida en el área del proyecto?
- ¿Cuáles son los recursos a los que afectan las amenazas climáticas actuales?
- ¿Qué tan importantes son estos recursos para las estrategias de respuesta?

La información organizada en el Módulo 1 constituye la base para el Módulo 2: “Planificar y gestionar proyectos para la adaptación al cambio climático”, que se interesa por generar información para mejorar los proyectos a favor de la adaptación.

### **MÓDULO 2. PLANIFICAR Y GESTIONAR PROYECTOS PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

¿Cuáles son los impactos de las actividades del proyecto en los recursos de los medios de vida que son...

- ¿vulnerables a las amenazas climáticas?
- ¿importantes para afrontarlas y para las estrategias de respuesta?

**¿Cómo pueden modificarse las actividades del proyecto para disminuir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptación en las comunidades?**

- Maximizar impactos positivos del proyecto en la capacidad de adaptación
- Minimizar impactos negativos del proyecto en la capacidad de adaptación
- Identificar sinergias y barreras para la aplicación de los cambios en el proyecto

Revisar si los cambios propuestos al proyecto son factibles en función de:

- Prioridades y necesidades locales
- Finanzas del proyecto
- Capacidad institucional para poner en práctica los ajustes propuestos
- Marco de políticas acordes con los ajustes propuestos
- Riesgos futuros asociados con el cambio climático

Por razones de espacio, en este artículo solamente se mostrarán los resultados del Módulo 1. Los resultados completos de la aplicación de la herramienta CRiSTAL se presentan en detalle en otra publicación (Ruiz y Arellano, 2013).

## **4. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

En la aplicación de la herramienta CRiSTAL se realizó trabajo de gabinete y de campo. Se revisó literatura sobre las manifestaciones del cambio climático en México y sus expresiones en Chiapas y en la cuenca del río Huehuetán. Los datos de precipitación y temperatura obtenidos de las

estaciones climatológicas ubicadas en la cuenca fueron procesados para dar cuenta de las manifestaciones de la variabilidad climática en los últimos cien años. Se efectuó un taller de investigación participativa con pobladores de dos microcuencas: Toquian Chiquito y Flor El Naranjo, localizadas en la parte media y alta de la cuenca respectivamente, las cuales presentan altas tasas de erosión hídrica y han sido impactadas por diversos fenómenos climáticos en la última década. El taller permitió la identificación colectiva de los riesgos climáticos con mayores impactos en los hogares y comunidades, los recursos más afectados, así como una amplia reflexión acerca de las estrategias de respuesta que se ensayan para enfrentar los riesgos. Se involucraron 43 participantes, de los cuales 28 fueron hombres y 15 mujeres. Cabe señalar que la herramienta CRiSTAL ha sido utilizada en otros contextos parecidos al del presente estudio con resultados semejantes, sobre todo aquellos realizados en San Marcos, Guatemala (UICN, 2009); en Honduras (Rivera, 2011) y en República Dominicana (González *et al*, 2011). Para una revisión de los hallazgos obtenidos al aplicar esta metodología consultar las memorias de los talleres realizados en otras latitudes en: <http://www.iisd.org/cristaltool/>. En los siguientes apartados se presentan los resultados derivados de la aplicación del Módulo 1 de la herramienta.

## **5. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHIAPAS**

En los últimos años se han observado y documentado perturbaciones significativas en el régimen hidrológico, cambios en los patrones de precipitación, aumento de los periodos de sequía, mayor incidencia de incendios forestales y un incremento en la intensidad y frecuencia de los eventos hidrometeorológicos extremos, tales como huracanes, lluvias intensas, sequías y ondas de calor. (Conservation International, 2011). De acuerdo al Atlas Estatal de Riesgos, Chiapas se caracteriza por su alta vulnerabilidad y riesgo de desastres por fenómenos hidrometeorológicos extremos; los mayores peligros son las inundaciones y los deslizamientos, siendo los municipios de la franja costera los más vulnerables (Sistema Estatal de Protección Civil, 2012). Varios estudios sostienen que la franja costera de Chiapas es altamente vulnerable al impacto de los huracanes y tormentas tropicales, que se han presentado con mayor frecuencia e intensidad en los últimos años (Martínez, 2007; Conservation International, 2011). De manera particular, las regiones Soconusco y Sierra Madre son altamente sensibles a tales amenazas, debido a los altos índices de marginación social, a los acelerados procesos de erosión hídrica, por la presencia de precipitaciones de hasta 5,500 mm en la parte media y alta de las cuencas, a la topografía accidentada, suelos muy erodables y a los cambios en el uso del suelo (Arellano, 2010). Las lluvias torrenciales y ciclones tropicales de los años 1998, 2005, 2007 y 2010 provocaron severos daños en las poblaciones más empobrecidas, afectando viviendas, servicios públicos, actividades económicas e infraestructura de comunicaciones. Los impactos se expresaron en pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños económicos, agravando aún más las ya precarias condiciones de vida de las poblaciones chiapanecas, ubicadas en los índices más bajos de desarrollo humano.

## **6. VULNERABILIDAD Y RIESGOS CLIMÁTICOS EN CUENCA DEL RÍO HUEHUETÁN**

La cuenca del río Huehuetán se localiza en la franja costera de Chiapas, en la vertiente del Océano Pacífico de la Sierra Madre, en la llamada región Soconusco. Con una superficie de 77,400

hectáreas, incluye parte del territorio de cuatro municipios: Motozintla, Tapachula, Huehuetán y Mazatán.

Las tendencias en la variabilidad de la precipitación de 1915 a 2010 en la cuenca superior del río Huehuetán muestran que en las últimas tres décadas, los años más lluviosos y más secos se han presentado con mayor frecuencia y están relacionados con la presencia de los ciclos de El Niño/Oscilación del Sur. Los eventos de lluvia extremos en 24 horas mayores a 200 mm, se presentan con mayor frecuencia e intensidad a partir del año 2000 y han provocado severos desastres (Ruiz, 2011a). Estudios recientes estiman que un 62.7% del territorio de la cuenca superior del río Huehuetán presenta vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones de alta a muy alta. En las microcuencas de río Zapote-Argovia, río Chanjul, río Pinabete y río Londres, la proporción de su territorio susceptible a deslizamientos e inundaciones es de un 59.1%, 39.1%, 87.6% y 48.4% respectivamente. Estas microcuencas fueron las más impactadas por las lluvias extremas del ciclón tropical *Stan* de 2005 (Arellano, 2012).

El Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas señala que durante la segunda mitad del siglo XX se detectó en la región del Soconusco un aumento de 1.8°C de temperatura promedio anual. Las proyecciones indican que habrá un aumento de temperatura de 2.1°C a 2.2°C en un lapso de 30 años en la región, y para el futuro lejano (2080-2099) se prevén incrementos de entre 2.3°C y 2.5°C en las regiones Istmo-Costa, Soconusco y Selva. Respecto a la precipitación, en la región del Soconusco se esperan aumentos mayores a los 255.5 mm/año para el futuro lejano (2075-2099) (Conservation International, 2011:49-51). Algunos estudios sostienen que los aumentos de temperatura y los prolongados períodos de sequía previstos podrían provocar el desplazamiento de las zonas óptimas de cultivo del café, es decir, un ascenso en el área óptima de cultivo y, por lo tanto, una disminución de la superficie apropiada para el cultivo del café arábica (Schroth et al, 2009), cuyos efectos serían significativos para las economías campesinas que dependen de este cultivo.

Según el Plan de Contingencia para la temporada de lluvias y ciclones tropicales del Instituto de Protección Civil para el Manejo Integral de Riesgos de Desastres (Gobierno del Estado de Chiapas, 2010), en el municipio Huehuetán el grado de amenaza a lluvias, tormentas eléctricas, inundaciones y deslaves es “alto”, determinado con base en los registros históricos de daños. Asimismo, se afirma que el grado de vulnerabilidad de Huehuetán es “muy alto”, estimado con base en Índice de Desarrollo Económico (vulnerabilidad económica), el Índice de Marginación de la Secretaría de Desarrollo Social (vulnerabilidad social) y el Índice de Corrupción y Buen Gobierno de Transparencia Mexicana (vulnerabilidad política). El índice de riesgo para el municipio de Huehuetán es de 0.583, considerado “alto”.

Los impactos de los eventos hidrometeorológicos han agudizado aún más las ya precarias condiciones de vida de las poblaciones chiapanecas, ubicadas en los índices de desarrollo humano más bajos. En la historia reciente, los ciclones y lluvias torrenciales de los años 1998, 2005, 2007, 2010, han provocado severos daños a las poblaciones más empobrecidas. La fuerza destructiva de los fenómenos climáticos ha mostrado las dimensiones de la vulnerabilidad y los niveles de riesgo a que está sometida la población en la región debido a décadas de marginación y abandono (Ruiz, 2010).

## 7. IMPACTOS DE LAS AMENAZAS CLIMÁTICAS EN LOS MEDIOS DE VIDA DE LA POBLACIÓN CAMPESINA

La microcuenca Toquián Chiquito incluye dos ejidos, tiene una población de 820 habitantes y una superficie de 803.54 hectáreas. El 77% de su territorio está formado de cerros y laderas con pendientes muy pronunciadas. La precipitación media anual es de 4,300 mm. Las tasas de pérdida de suelo por erosión hídrica con valores extrema (mayor a  $500 \text{ Ton}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), severa ( $100$  a  $500 \text{ Ton}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y alta ( $50$ - $100 \text{ Ton}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) se presentan en el 48.96% del su territorio; mientras que la erosión moderada ( $5$ - $50 \text{ Ton}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) se extiende en el 42.45% del área de la microcuenca. Los bosques de pino-encino ocupan la mayor parte y el café es el único cultivo (CONAGUA-INIFAP, 2008). Por otra parte, la microcuenca Flor El Naranjo se ubica en la parte alta de la cuenca, con un área de 2,395 hectáreas, integrada por nueve localidades y 2,399 habitantes. Se caracteriza por una topografía con laderas de pendientes fuertes y pronunciadas (incluso superiores a  $45^\circ$  o  $100\%$ ;). El 45.2% de la superficie presenta valores de erosión severa y muy severa. El rango de precipitación va desde los 3,500 mm en la parte más alta y hasta los 4,200 mm hacia la parte media de la microcuenca. El nivel de los ríos llega a incrementarse hasta ocho metros en temporada de intensas precipitaciones, lo que representa un alto nivel de riesgo. Más del 50% de la superficie se destina al cultivo del café; la superficie de maíz y frijol es reducida y su producción se destina a la subsistencia (CONAGUA-UACH, 2009). Las localidades de ambas microcuencas reportan un índice de marginación alto, con servicios precarios de salud y educación e inadecuados e insuficientes servicios de agua, saneamiento, energía eléctrica e infraestructura de comunicaciones.

El primer evento que está en la memoria colectiva de los habitantes son las lluvias extremas de 1953. Recuerdan también el “ventarrón” de marzo de 1985, que en palabras de los pobladores “se llevó todo, como si le hubieran echado fuego al terreno, acabó con todo”. En la historia reciente señalan la sequía e incendios de 1997, pero sobre todo el ciclón tropical *Stan* de octubre de 2005, que por las dimensiones de sus impactos es un hito en la historia local y aún está presente en la memoria colectiva. Sin embargo, las intensas precipitaciones de julio de 2010 parecen superar los impactos de las grandes lluvias del Stan. Después de tres días consecutivos de lluvias, el 7 de julio del 2010 sobrevino un derrumbe en el ejido Toquián Chiquito, provocando la creciente del arroyo Londres que atraviesa el ejido. La fuerza del agua destruyó varias viviendas, patios de secado de café y tres hectáreas de cafetales. La comunidad en su conjunto se ubica en una zona de alto riesgo, las viviendas y cafetales se encuentran ubicados en laderas muy escarpadas (Ruiz, 2011b).

En el taller participativo realizado, la población de las microcuencas hizo referencia a tres amenazas climáticas con impactos severos en sus medios de vida: lluvias extremas, vientos fuertes y sequía prolongada.

De acuerdo a los testimonios de los pobladores, el patrón de lluvias se ha modificado significativamente. La presencia de intensas precipitaciones se ha hecho más frecuente, incluso no tiene que tratarse de huracanes o ciclones tropicales para que sus recursos sean impactados negativamente. Los frentes fríos se presentan después de la temporada de lluvias, y los fuertes vientos también provocan daños. La temporada de secas de igual forma ha experimentado cambios: suele prolongarse o acortarse, con temperaturas mayores a las que se presentaban hace algunos años. Los pobladores de la cuenca aprecian modificaciones en el clima local con mayor claridad

desde hace una década; sin embargo, se han observado modificaciones en el clima desde principios de 1990.

Las *lluvias extremas* (intensas y más frecuentes) afectan a todos los recursos de los medios de vida locales. Provocan la pérdida de las cosechas de café, maíz y frijol. Deterioran las viviendas y construcciones más precarias; dan lugar al crecimiento de arroyos y ríos que arrastran rocas y sedimentos, generando derrumbes e inundaciones, hundimientos y destrucción de infraestructura: viviendas, construcciones, patios para el secado del café, caminos de acceso. Los cerros y laderas se saturan de agua dando lugar a deslizamientos de tierras que destruyen cafetales y deterioran y bloquean los caminos. Las instalaciones de distribución del agua y el servicio de energía eléctrica también se ven afectadas.

Los *vientos fuertes* se presentan a partir de noviembre y hasta febrero. Destruyen cafetales, provocan la caída de los granos, derriban las plantas de maíz y frijol y deterioran las viviendas. Los daños también se aprecian en la salud de la población: las enfermedades respiratorias y gastrointestinales, antes controladas, experimentan un incremento significativo; incluso la desnutrición infantil reaparece como consecuencia de la inseguridad alimentaria que provoca la pérdida de cosechas.

Durante la temporada de *sequía prolongada*, las temperaturas se incrementan, se reduce la disponibilidad de agua para las viviendas y los manantiales se secan. La comunidad El Naranja carece de una infraestructura adecuada y suficiente para garantizar el abasto de agua en las viviendas debido a que la obra pública no fue concluida. Las familias resuelven el abasto de agua por sus propios medios, conectando mangueras a diversos manantiales desde las montañas, tandeando su distribución y racionando su uso. Las jornadas de trabajo de las mujeres se incrementan debido a que deben acarrear agua desde arroyos más lejanos para abastecer las necesidades del hogar.

## **8. LOS RECURSOS DE LOS MEDIOS DE VIDA MÁS AFECTADOS POR LAS AMENAZAS CLIMÁTICAS**

Una vez identificadas las amenazas climáticas, se procedió a examinar cómo impactan en los recursos en los que se basa la subsistencia de los hogares campesinos: naturales, físicos, financieros, humanos y sociales. En el taller participativo, los pobladores estimaron una influencia destacada de las amenazas climáticas en los recursos naturales y físicos, por ser los que se destruyen con mayor evidencia; sin embargo. Los recursos naturales son particularmente afectados, pues la tierra se erosiona y las cosechas se reducen, con impactos negativos en los recursos financieros. La población señaló que los efectos más adversos se aprecian en sus recursos físicos; los deslizamientos y derrumbes destruyen las viviendas, la infraestructura de distribución del agua y el servicio de energía eléctrica se interrumpe con las fuertes lluvias y vientos. De manera grave se aprecian daños en la infraestructura de caminos de acceso y transporte, recurso vital para el abasto y disponibilidad de alimentos que adquieren del exterior, pues las cosechas locales son insuficientes para garantizar la seguridad alimentaria: la cantidad de tierra por grupo doméstico es insuficiente para satisfacer las necesidades familiares, y que cada hogar posee de una a tres hectáreas.

Las familias campesinas despliegan diversas estrategias de vida para obtener su sustento. La actividad agrícola es una de ellas, pero no aporta un ingreso relevante, por lo que se complementa

con la migración y con el empleo temporal en actividades no agrícolas, mismas que están sometidas a la incertidumbre y el riesgo. Además, se depende de manera significativa de las transferencias gubernamentales inscritas en los Programas públicos de “combate a la pobreza”, que representan casi el 40% de los ingresos de los hogares (Ruiz, 2011a).

Los recursos humanos; es decir, los pobladores, se ven afectados con la presencia de enfermedades respiratorias, en particular de infantes y ancianos, y por la menor disponibilidad de alimentos. En esta circunstancia, los recursos más robustos son los ingresos que reciben por las remesas, los jornales no agropecuarios y, sobre todo, los subsidios por transferencias gubernamentales. Los recursos sociales también entran en juego para hacer frente a los desastres, y se expresan en las redes de ayuda mutua entre familiares y vecinos, en el uso de las escuelas y la casa ejidal como albergues, en el trabajo colectivo para la reparación de caminos y en el funcionamiento de los comités comunitarios establecidos para garantizar el abasto de alimentos y restablecer el servicio de agua y luz.

Entre las estrategias de respuesta se identificaron el abandono de cultivos, el incremento de la migración, el racionamiento del agua, y el incremento del cultivo de café robusta sin sombra, a alturas menores de 800 msnm, en la zona cafetalera marginal, por ser más resistente a las intensas lluvias. A diferencia del café arábigo de altura, el café robusta está destinado a la elaboración de café soluble. La sustitución de los sistemas agroforestales de café arábigo por sistemas de café con una menor sombra e incluso sin ella, representa una amenaza a los servicios ambientales hidrológicos que proporcionan los sistemas agroforestales diversificados de cultivo de café e incrementan significativamente los niveles de erosión y deslizamientos (Arellano, 2004). El establecimiento en la región de una planta para la fabricación de café soluble ha estimulado aún más su producción.

## **9. LA IMPORTANCIA DE LOS RECURSOS EN LAS ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN**

Con el propósito de identificar estrategias de adaptación sostenibles, complementarias y alternativas a las estrategias de respuesta actuales, en el taller se analizaron algunas acciones para enfrentar los impactos de cada una de las tres amenazas climáticas identificadas.

### **9.1. Lluvias extremas**

Se fomentó la reflexión en torno a tres acciones que pueden contribuir a fortalecer la capacidad de adaptación de los hogares y comunidades frente a las lluvias extremas, y se identificó la importancia de los recursos locales para implementarlas:

- a) *Diversificación de cultivos e impulso a los sistemas agroforestales.* Los recursos naturales, financieros, humanos y sociales son muy importantes en las estrategias de respuesta para afrontar las amenazas climáticas, presentes y futuras. El incremento de la superficie de café robusta como estrategia de respuesta actual, incrementa los riesgos de erosión hídrica y los deslizamientos, de ahí la importancia de fortalecer los sistemas agroforestales de café y de diversificar los cultivos con fines comerciales. Ante la perspectiva del desplazamiento del

cultivo del café hacia las partes altas de las cuencas debido a los aumentos de temperatura previstos, se tornarán marginales gran parte de las tierras actualmente dedicadas a este cultivo y se deberán ensayar nuevas opciones productivas en esas áreas.

- b) *Ampliación de las áreas con prácticas de conservación del suelo y agua.* Prácticamente todos los recursos son importantes para el impulso de prácticas que reviertan la erosión, los deslizamientos y derrumbes. Las técnicas de conservación de suelos, tales como las presas filtrantes, las barreras de muro vivo y las terrazas contribuyen a la reducción de riesgos por remoción de masa y deberán expandirse en mayores superficies.
- c) *Construcción y reparación adecuadas de caminos y vías de acceso.* La obstrucción de caminos y destrucción de puentes provoca escasa disponibilidad de alimentos, pues casi todos se compran en las ciudades. Para el almacenamiento de alimentos y la reparación de los caminos los recursos físicos, humanos y sociales son relevantes, pues involucra el fortalecimiento de los Comités de Caminos Vecinales y las gestiones comunitarias ante los gobiernos locales.

En la valoración que se le otorgó a cada recurso para el impulso de las estrategias de adaptación ya mencionadas, se aprecia la destacada importancia que tienen todos los recursos de los medios de vida. Los recursos humanos y sociales son de gran relevancia, y le siguen en importancia los recursos naturales y financieros.

## **9.2. Fuertes vientos**

Para enfrentar los efectos de los fuertes vientos, la población sugirió el impulso de tres acciones para fortalecer su capacidad de adaptación:

- a) *Sistemas agroforestales con sombra diversificada:* La introducción de frutales y otras especies con valor comercial en los cafetales puede ser una estrategia para enfrentar el incremento de la superficie del café robusta. La diversificación de sombra en cafetales requiere en especial de los recursos sociales, políticos y humanos para acceder a los recursos materiales y financieros disponibles en las instituciones públicas para este propósito.
- b) *Fortalecimiento de capacidades organizativas locales:* Además de los recursos financieros y naturales, los recursos humanos y sociales son importantes para enfrentar los daños y responder a las amenazas futuras, pues muchas de las estrategias de adaptación incluyen gestiones ante autoridades locales y movilizaciones sociales que se sustentan en fuertes liderazgos locales y en organizaciones sólidas.
- c) *Restauración de cobertura arbórea y barreras vivas:* De nueva cuenta, además de los recursos naturales, los recursos humanos y sociales son clave para incrementar las áreas reforestadas y establecer barreras vivas. La disponibilidad de recursos financieros, pero también de mano de obra es importante, así como la organización local para crear una institucionalidad local favorable a la protección de las áreas forestales y la gestión de riesgos.

## **9.3. Seguía prolongada**

Ante la seguía prolongada, se propusieron las siguientes estrategias de adaptación:

- a) *Protección de manantiales:* Proteger los manantiales y establecer obras de almacenamiento de agua son acciones necesarias ante escenarios de temperaturas más elevadas y de temporadas de



sequía y periodos de canícula prolongados. Los recursos financieros y sociales son muy importantes para implementar esta estrategia de respuesta pues involucra gestiones en las instituciones públicas y autoridades municipales.

- b) *Infraestructura adecuada y suficiente para el suministro de agua en viviendas:* La ausencia de infraestructura de agua adecuada en las comunidades provoca desabasto en los hogares, sobre todo en épocas de estiaje. La organización y movilización social es necesaria para obtener respuesta de las autoridades municipales y estatales que, pese a las gestiones locales realizadas, no han dotado a las comunidades con la infraestructura adecuada. Los recursos humanos, sociales y políticos son relevantes en esta estrategia.
- c) *Fortalecimiento de Comités de Agua:* La escasez de agua genera conflictos intracomunitarios cuando los hogares tienen que compartir una misma fuente de agua y racionar la asignación. Aunque se toman acuerdos no formales encabezados por las mujeres, es necesario que se fortalezcan los Comités de Agua para crear arreglos locales sólidos y equitativos, en los que participen las mujeres.

## CONCLUSIONES

El territorio de la cuenca del río Huehuetán, por sus condiciones geográficas y de marginación social, presenta una alta exposición y sensibilidad a amenazas hidrometeorológicas, lo que coloca a la población en condiciones de alta vulnerabilidad. Los recursos de los medios de vida de la población son precarios. Los más afectados por las amenazas climáticas son los recursos naturales y físicos, con impactos negativos en los recursos financieros. Los recursos humanos y sociales son clave para enfrentar los riesgos, responder y adaptarse a las amenazas futuras, pero se trata de recursos débiles, que los proyectos de conservación de suelos y agua no han contribuido a fortalecer.

La herramienta CRiSTAL ha sido útil para que las poblaciones de la cuenca identifiquen fácilmente los nexos entre sus recursos y las fortalezas, pero también las debilidades de sus estrategias de respuesta y adaptación frente a los impactos de los eventos climáticos. El involucramiento de las comunidades en la formulación de propuestas para mejorar la sostenibilidad de sus estrategias de adaptación, es imprescindible para facilitar el diálogo entre las prioridades de las comunidades y los requerimientos de los proyectos ambientalistas. Es una herramienta práctica que puede contribuir a sensibilizar a los planificadores de los proyectos acerca de la importancia de mejorar las acciones de intervención para responder a las realidades y necesidades de las comunidades frente a los riesgos que representa el cambio climático en sus vidas. La herramienta puede mejorar haciendo explícita la consideración de los recursos culturales y políticos, e incluyendo ejercicios que hagan visible las diferencias y desigualdades sociales y de género en el acceso y control de recursos y en las estrategias de respuesta y adaptación.

## REFERENCIAS

- Adger, N. 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change* 16:268–81.
- Arellano, J. L. 2012. *Vulnerabilidad y Gestión de Riesgos por Deslizamientos e Inundaciones en la Cuenca Superior del río Huehuetán, Chiapas*. Tesis para obtener el grado de Doctorado en

- Ciencias y Tecnología del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Jiutepec, Morelos. 447 pp.
- Arellano, J. L. 2010. Gestión Integral de Recursos Hídricos para reducir la Vulnerabilidad a Deslizamientos e Inundaciones en las Cuencas de la Sierra Madre de Chiapas. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. Vol. 2. No. 1, pp. 23-37.
- Arellano, J. L. 2004. Coffee Agroecosystems Contribution to Soil and Water Conservation in the Cuilco River Basin, Soconusco Region, Chiapas State, Mexico. In: García de Jalón, Diego and Vizcaíno, Martínez Pilar. (eds). *Aquatic Habits: Análisis & Restoration. Fifth International Symposium on Ecohydraulics. Vol. II*. International Association of Hydraulics Engineering and Research. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 1369-1372.
- Birkmann, J., G, Tetzlaff y K. Zentel. 2009. *Addressing the Challenge: Recommendations and Quality Criteria for Linking Disaster Risk Reduction and Adaptation to Climate Change*. DKKV Publication Series 38, Bonn.
- Cardona, O, 2012. Un marco conceptual común para la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático: encuentros y desencuentros de una iniciativa insoslayable, en Briones, F. (coord) *Perspectivas de investigación y acción frente al cambio climático en Latinoamérica*. Red de Estudios en Prevención de Desastres en América Latina. Venezuela. 13-37.
- Cardona, O. 2001. *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgos*. Centro de Estudios sobre desastres y riesgos. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.
- CARE 2009. *Climate Vulnerability and Capacity Analysis Handbook*. CARE International. <http://www.careclimatechange.org/cvca>. (accessed 12 Feb 2010).
- Conagua – UACH. 2009. *Transferencia de Tecnología para la Ejecución de Prácticas de Conservación del Suelo y Agua en Microcuencas de la Cuenca Alta del Río Huehuetán, Chiapas*. Informe final. Proyecto Rehabilitación hidrológica ambiental de las cuencas de los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán, Chiapas. Conagua. Organismo de Cuenca Frontera Sur. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Conagua – INIFAP. 2008. *Transferencia de Tecnología para la Ejecución de Prácticas de Conservación del Suelo y Agua en Microcuencas de la Cuenca Media del río Huehuetán, Chiapas*. Informe final. Proyecto Rehabilitación hidrológica ambiental de las cuencas de los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán, Chiapas. Conagua. Organismo de Cuenca Frontera Sur. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Conservation International, A.C., 2011. *Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas*. SEMARNAT, INE, UNICACH, ECOSUR, CEMDA, Colegio de Posgraduados y Embajada Británica. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- DFID. 1999. *Sustainable Livelihoods Guidance Sheets*. [http://www.livelihoods.org/info/info\\_guidancesheets.html](http://www.livelihoods.org/info/info_guidancesheets.html). (accessed 17 Nov 2009).
- Gobierno del Estado de Chiapas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2010. *Plan de Contingencia para la temporada de lluvias y ciclones tropicales*. Instituto de Protección Civil para el Manejo Integral de Riesgos de Desastres. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- González, A., M. Keller, E. Tineo, E. Julia. 2011. Reporte Final de los Talleres CRiSTAL en República Dominicana. Proyecto de Asesoría Técnica en Gestión de Riesgo Climático. IISD. <http://www.iisd.org/cristaltool/download.aspx> (accessed 11 Feb 2013).
- International Institute for Sustainable Development. 2012. CRiSTAL User's Manual. [http://www.iisd.org/pdf/2012/cristal\\_user\\_manual\\_v5\\_2012.pdf](http://www.iisd.org/pdf/2012/cristal_user_manual_v5_2012.pdf). (accessed 11 Feb 2013).
- IISD, UICN, SEI e Intercooperation. 2009. CRiSTAL. Herramienta para la identificación Comunitaria de Riesgos – Adaptación y Medios de Vida. Manual del usuario. [www.cristaltool.org](http://www.cristaltool.org) (accessed 06 Ene 2010).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Special Report of the IPCC. Cambridge University Press.

- Martínez, P. 2007. *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. SEMARNAT. IMTA. Jiutepec, Morelos.
- Rivera, A. 2011. *Consultas comunitarias sobre gestión de riesgos climáticos en Honduras*. IISD. <http://www.iisd.org/cristaltool/download.aspx> (accessed 11 Feb 2013).
- Ruiz, L. y Arellano, J. L. 2013. Identificación comunitaria de riesgos climáticos, medios de vida y estrategias de adaptación en la cuenca del río Huehuetán, Chiapas, en: Soares, D. (ed). *Reflexiones y expresiones de la vulnerabilidad en el sureste de México*. IMTA, CATIE y CONACyT. En prensa.
- Ruiz, L. 2011a. Construcción de capacidades locales para la reducción de la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en la cuenca del río Huehuetán, Chiapas. Informe de investigación. Comisión Nacional del Agua y Universidad Autónoma Chapingo. México. 160 pp.
- Ruiz, L. 2011b. *Percepciones por género de la vulnerabilidad social ante la variabilidad climática en la cuenca del río Huehuetán, Chiapas*. Informe de Investigación. Fondo Mink'a de Chorlaví y RIMISP - Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural. Santiago, Chile.
- Ruiz, L., 2010. Climate Change, Poverty and Migration Processes in Chiapas, Mexico. *International Journal of Labour Research*. Vol. 2. Issue 2. International Labour Organization. Geneva. pp. 187-210.
- Sistema Estatal de Protección Civil., 2012. *Atlas de Riesgos del Estado de Chiapas*. Gobierno del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez.
- Schroth, G., Laderach, P., Dempewolf, J., Philpott, S., Haggar, J., Eakin, H., Castillejos, T., Garcia, J., Soto, L., Hernández, R., Eitzinger, A., Ramírez-Villegas, J., 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 14 (7), 605–625.
- UICN. 2009. *Capacitación y aplicación de la herramienta CRiSTAL - San Marcos, Guatemala*. Proyecto Tacaná II. Informe. <http://www.iisd.org/cristaltool/download.aspx> (accessed 11 Feb 2013).



# ÍNDICE DE VULNERABILIDAD Y COSTOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. CASO DEL SISTEMA DE AGUA MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE MEXICALI.

Héctor David CAMACHO GONZÁLEZ

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Jiutepec Morelos,  
hector\_camacho@tlaloc.imta.mx

## RESUMEN

El tema de cambio climático en el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento no es un tema considerado en su planeación debido a la falta de información, lo cual abre interrogantes de cómo adaptar la operación de los sistemas a éste fenómeno atmosférico. Esto coloca a los prestadores de los servicios municipales de agua frente a un dilema de cómo desarrollar a corto y largo plazo planes que consideren efectos del cambio climático, ya que los impactos potenciales de este fenómeno pondrán a prueba la infraestructura existente pero más aún, la capacidad para planear y tomar decisiones que coadyuven en la adaptación.

Este trabajo presenta una propuesta metodológica para el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático en un Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. De manera general la metodología consta de dos partes; el análisis de vulnerabilidad y el cálculo de costos, la primera permite evaluar a través de la construcción de un índice, la sensibilidad del sistema de agua ante los impactos potenciales del cambio climático y su capacidad de adaptación basada en tres factores: grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación; la segunda, utiliza la información obtenida en el análisis para determinar las posibles y diferentes opciones para adaptarse a los impactos que se consideran significativos y el costo que implica aumentar la capacidad de respuesta de un organismo operador.

La metodología se aplicó específicamente al caso de la ciudad de Mexicali considerando estimaciones de aumentos de temperatura en los próximos veinte años, medidas de adaptación relacionadas con políticas de operación y un cálculo de los costos que implica establecer una estrategia de adaptación a un posible escenario de cambio climático que podría incrementar la vulnerabilidad del organismo operador.

Los resultados mostraron que es posible desarrollar una metodología para el cálculo de los costos de adaptación para el cambio climático en un organismo operador siempre y cuando exista la información de costos unitarios de producción en el organismo operador.

**Palabras clave:** índice, vulnerabilidad, costos, adaptación, organismos operadores, agua.

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los fenómenos climáticos y sus alteraciones han sido de interés para la sociedad debido al impacto que tienen en los sectores sociales, económicos y ambientales; los cuales bajo un enfoque de gestión integrada de cuencas, se encuentran fuertemente vinculados. Dentro del territorio de la cuenca se desarrolla una parte del ciclo hidrológico que depende de la actividad humana que se desarrolle para que éste proceso se mantenga o presente alteraciones que se reflejen en la dinámica socioeconómica-ambiental. El cambio climático ha sido una variable más que se ha

insertado en la planeación de una cuenca y sus recursos hídricos, analizando mediante escenarios los efectos que éste fenómeno tendrá en la disponibilidad de agua. Por ello resulta necesario evaluar sus efectos y la sensibilidad de los elementos expuestos a nivel local a fin de contar con las herramientas que permitan plantear medidas de adaptación, ya que, inevitablemente el cambio climático desafiará las practicas existentes de administración del agua, especialmente en situaciones en las que se cuente con menos experiencia en la incorporación de medidas de planificación y con menos recursos financieros e institucionales.

Este trabajo presenta una propuesta metodológica para el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático en un Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OOAPAS). De manera general la metodología consta de dos partes; el análisis de vulnerabilidad y el cálculo de costos, la primera permite evaluar la sensibilidad de los organismos operadores ante los impactos potenciales del cambio climático y su capacidad de adaptación basada en la eficiencia física y comercial; la segunda, utiliza la información obtenida en el análisis para determinar las posibles y diferentes opciones para adaptarse a los impactos que se consideran significativos y el costo que implica aumentar la capacidad de respuesta de un organismo operador.

La metodología se aplicó específicamente al caso de la ciudad de Mexicali, tomando en consideración que en esta ciudad se esperan fuertes incrementos en la temperatura en los próximos veinte años, lo que podría incrementar la vulnerabilidad en la prestación de los servicios del organismo operador.

## **2.- OOAPAS Y CAMBIO CLIMÁTICO**

El cambio climático es un fenómeno que impacta a todos los sectores de la economía de los países, sin embargo, existen sectores que pueden ser más sensibles que otros a estos impactos. Uno de ellos es el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento, en donde las entidades encargadas de prestar estos servicios a la población son los organismos operadores.

El tema de cambio climático en estas organizaciones hace cuestionar no únicamente la confiabilidad de las fuentes de abastecimiento en cuanto cantidad y calidad; también agrega una variable que no es considerada en la planeación de los organismos operadores por falta de conocimiento en el tema así como por la falta de información para generar sus propios escenarios de cambio climático. Esto coloca a los prestadores de los servicios frente a un dilema de cómo desarrollar a corto y largo plazos, planes que consideren efectos del cambio climático (WUCA, 2010), ya que los efectos potenciales de éste fenómeno impactarán en gran medida a los organismos operadores, poniendo a prueba tanto infraestructura existente como las habilidades de los directivos para asegurar la continuidad de los servicios a la población.

De acuerdo con la Water Utility Climate Alliance (WUCA), la planeación de los organismos operadores bajo el enfoque del cambio climático y su incertidumbre considera las siguientes etapas:

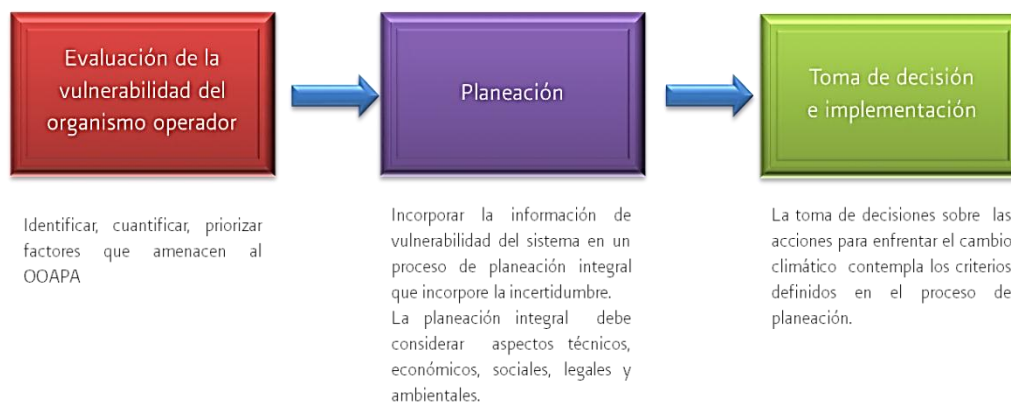


Figura 1. Proceso de planeación en sistemas de agua bajo el enfoque de cambio climático (WUCA, 2010)

Es en un proceso como el mencionado anteriormente que la evaluación de los costos se integra para proporcionar elementos que sirvan en la toma de decisión sobre las alternativas de acciones a seguir para adaptarse a los efectos del cambio climático.

En este contexto, el cambio climático representa simplemente una carga adicional para los servicios de abastecimiento de agua potable. De forma que, incluso sin el cambio climático los sistemas de abastecimiento de agua se enfrentan con el desafío de garantizar el servicio en muchas ciudades.

### 3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LOS OOAPAS

El uso del término vulnerabilidad es un concepto central en una variedad de contextos ya sean sociales, económicos, físicos, ambientales o institucionales. Cada disciplina ha definido de diferente manera el concepto y en ocasiones se encuentran intrínsecamente ligados.

Bajo este contexto, la generación del índice se basa en la definición de vulnerabilidad planteada por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) definida como el grado de susceptibilidad o incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y la cual depende de tres factores:

- **Exposición:** Carácter y grado en que un sistema está expuesto a variaciones climáticas importantes.
- **Sensibilidad:** Grado en que un sistema resulta afectado, negativa o ventajosamente, por estímulos relativos al clima.
- **Capacidad de adaptación:** Capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluso a la variabilidad del clima y a los fenómenos extremos) de modo de mitigar posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias.

Esta definición asume implícitamente que cuanto mayor sea el conjunto de acciones encaminadas a la mitigación y adaptación, menor será la vulnerabilidad ante los efectos del cambio

climático. De tal modo que considerando estos tres factores se generó y comparó un índice que permitiera evaluar de forma individual el grado de vulnerabilidad de un organismo operador basado en la agregación lineal y ponderada de dichos factores.

$$I_v = GE + SE + CA \quad (1)$$

Donde  $I_v$ , índice de vulnerabilidad,  $GE$ , grado de exposición,  $SE$ , sensibilidad,  $CA$ , capacidad de adaptación.

En este sentido, el sector de servicios de agua potable y alcantarillado presenta un desafío importante para lograr que en la gestión de los organismos operadores de agua en México se considere la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático para que se desarrollen acciones de corto-mediano plazo para adaptarse a los efectos del cambio climático pero también, generen acciones de mitigación que ofrezcan resultados en el largo plazo.

#### **4. COSTOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

La adaptación permite reducir los impactos adversos del cambio climático y mejorar los impactos beneficiosos pero tendrá costos y no impedirá todos los daños.

Con el propósito de reducir los riesgos del cambio climático es necesario implementar medidas de adaptación que permitan reducir la vulnerabilidad al cambio climático, además de mejorar la capacidad de capturar cualquier beneficio del cambio climático.

De acuerdo con el IPCC, existen distintos tipos de adaptación, diferenciando entre adaptación *autónoma* y *planificada*. La adaptación autónoma es aquella que no constituye una respuesta consciente a estímulos climáticos, sino que es provocada por cambios ecológicos en los sistemas naturales y cambios en el mercado o el bienestar en los sistemas humanos (IPCC, 2001) sin embargo aunque no hayan sido ideadas expresamente para compensar el cambio climático, pueden reducir las repercusiones de ese cambio. La adaptación planificada resulta de una decisión política deliberada, basada en la comprensión de que las condiciones han cambiado o están por cambiar y de que se requieren medidas para volver a un estado deseado, mantenerlo o lograrlo (IPCC, 2001) pero no toma en cuenta específicamente el cambio y variabilidad del clima. La adaptación planificada se enfoca en bajar los costos haciendo frente a los problemas *ex ante* y la adaptación autónoma hace frente a los impactos adversos *ex post*.

Lecocq y Shalizi (2007) explican que la adaptación autónoma es reactiva y debe considerar entre sus costos la combinación de gastos de sobrevivencia y gastos de reconstrucción. A diferencia de la adaptación autónoma, la planificada se basa en la prevención, por lo que utiliza recursos ahora para prevenir posibles crisis en el futuro.



El problema es que en la práctica, cambios en el comportamiento y en las decisiones de política son frecuentemente más fáciles de ejecutar una vez que la crisis ha ocurrido que como anticipación de la misma. Pero, desde el punto de vista económico, los costos preventivos suelen ser menores en comparación con los costos de acciones reactivas (Lecocq y Shalizi, 2007).

## 5. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE COSTOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

El presente capítulo tiene como objetivo describir la metodología propuesta para el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático en un organismo operador.

Esta metodología es un primer intento por evaluar los costos de adaptación al cambio climático en el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento partiendo de la información obtenida a través de un análisis de las variables relacionadas con la variación de clima, ubicación geográfica, operación y desempeño del organismo operador.

El esquema metodológico en el que se basa la evaluación de costos de adaptación se describe a continuación:



Figura 2. Metodología de cálculo del índice de vulnerabilidad y costos de adaptación

La metodología consta de tres elementos fundamentales: un índice de vulnerabilidad, una función de demanda *ad-hoc* que incorpora como variables independientes la tarifa, el ingreso, la temperatura y la precipitación; y el cálculo de los costos asociados a los dos primeros elementos.

**Índice de vulnerabilidad:** dadas las condiciones sociales, climáticas y de eficiencia actuales, se calcula un índice de vulnerabilidad que permite evaluar las variables que ante un escenario de cambio climático podrían incrementar el nivel de susceptibilidad de un Organismo Operador. Este índice se relaciona con la definición de vulnerabilidad

**Identificación de medidas de adaptación:** considerando el nivel de vulnerabilidad y los indicadores que aumentan el nivel de susceptibilidad del organismo operador, se plantean un conjunto de escenarios que permitan evaluar el efecto de implementar mejoras físicas y administrativas en el organismo operador, a fin de incrementar su capacidad de adaptación.

**Estimación de la demanda:** para el organismo operador analizado se calcula una función de demanda entre cuyas variables exógenas debe estar el precio, el ingreso, la temperatura y la precipitación. Los valores de demanda se calculan para las nuevas condiciones climáticas derivadas de los escenarios de cambio climático asumidos en el análisis de vulnerabilidad.

**Índice de vulnerabilidad con adaptación:** se definen los incrementos porcentuales de los indicadores de acuerdo a los escenarios planteados en la segunda etapa, estos incrementos pueden ser definidos a través de una meta, por ejemplo la media nacional o los niveles de desempeño del organismo menos vulnerable del país para finalmente recalculan el índice de vulnerabilidad bajo estos escenarios.

**Evaluación de costos:** Una vez evaluado el nivel de vulnerabilidad con la implementación de las medidas de adaptación, se calculan los costos asociados a dichas medidas. Los costos de adaptación se obtienen a partir de costos unitarios para cada una de las diferentes etapas consideradas en el proceso de producción de agua (producción, distribución, administración y comercialización) y la variación del volumen facturado y producido en cada uno de los escenarios planteados.

## **6. CASO ESTUDIO: ORGANISMO OPERADOR DE MEXICALI**

La metodología descrita se probó en la ciudad de Mexicali dada su ubicación geográfica y sus indicadores de desempeño que permitieron mejorar y evaluar la funcionalidad de la metodología de evaluación propuesta.

La información utilizada tanto para la elaboración de este apartado como para el cálculo de los costos y la estimación de la demanda fueron proporcionados por la Comisión Estatal de Agua de Baja California en la visita realizada por miembros del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en septiembre de 2012.

El municipio de Mexicali es operado por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), creada mediante Decreto de fecha 10 de diciembre de 1967, actualmente está conformada por 1191 empleados e integrada por cuatro subdirecciones: Administrativa, Obras, Comercial y Agua y Saneamiento, con sus respectivos apoyos de las áreas de la Unidad Jurídica, Control Interno, Relaciones Públicas y Planeación.

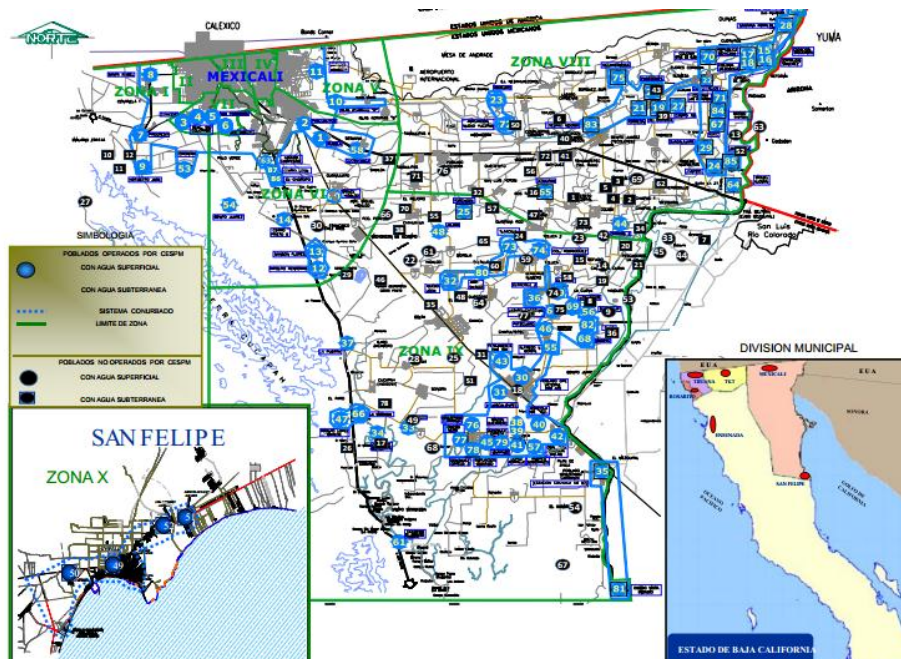


Figura 3. Sistema de agua potable de la ciudad de Mexicali

Actualmente además de la Cabecera municipal opera 80 localidades que representan el 92% del total de la población municipal. El resto son operados por comités de agua integrados por los mismos usuarios.

La ciudad cuenta con una cobertura del servicio de agua potable mayor al 99%. Lo que significa 2,888.2 kilómetros lineales de tubería de diferentes diámetros que forman la red del sistema que abastece de agua la mancha urbana, representando una prestación del servicio a 785,102 habitantes (99.5% del total), es decir, poco más de 300,000 tomas, de las cuales el 93.4% corresponden a tomas domésticas y el resto comercial e industrial.

A continuación se muestran algunos indicadores de gestión de la CESPM al 31 de diciembre de 2011:

### 6.1 Índice de vulnerabilidad

De acuerdo a la información proporcionada por la Comisión Estatal del Agua de Baja California, se evaluó el grado de susceptibilidad de la CESPM medido a través del índice de vulnerabilidad, a través del cual se relaciona la información de los conceptos presentados en la tabla anterior.

Los valores de los indicadores se basan únicamente en datos para la ciudad de Mexicali en el periodo correspondiente al 2009.

Tabla 1. Indicadores de la CESP (2011)

CONCEPTO	UNIDAD	ACUMULADO A DICIEMBRE DE 2011
<b>Población servida</b>	Habitantes	785,102
<b>Conexiones</b>	Conexiones	300,509
<b>Cobertura</b>	%	99.51
<b>Generación</b>	m <sup>3</sup>	82,128,615
<b>Facturación</b>	m <sup>3</sup>	71,423,458
<b>Facturación</b>	Pesos	776,835,352
<b>Cobranza</b>	Pesos	696,019,051
<b>Eficiencia física</b>	%	86.46
<b>Eficiencia comercial</b>	%	89.60
<b>Eficiencia global</b>	%	77.46

Tabla 2. Índice de vulnerabilidad Mexicali

FACTORES DE VULNERABILIDAD	INDICADOR	RANGO		PONDERACIÓN	MEXICALI 2009	
		Real	Normalizado		(Grado de vulnerabilidad)	Valor normalizado
<b>Grado de exposición</b>	°C	0 - 1.0	1.00 - 3.25	1	1.00	1.00
		1.0 - 2.0	3.25 - 5.50	2		
		2.0 - 4.0	5.50 - 10.00	3		
	% variación	-11.0 - -15.0	1.00 - 4.27	1	1.00	1.00
		-15.0 - -19.0	4.27 - 7.55	2		
		-19.0 - -22.0	7.55 - 10.00	3		
<b>Sensibilidad</b>	Consumo (l/h/d)	100 - 150	1.00 - 2.29	1	5.17	10.33
		150 - 300	2.29 - 6.14	2		
		300 - 450	6.14 - 10.00	3		
	Grado de confiabilidad: Costos de mtto./Ingreso total	0 - 0.15	10.00 - 7.00	3	9.06	27.17
		0.15 - 0.30	7.00 - 4.00	2		
		0.30 - 0.45	4.00 - 1.00	1		
	Demanda/Oferita	0.20 - 0.40	1.00 - 3.25	1	3.37	6.75
		0.40 - 0.70	3.25 - 6.63	2		
		0.70 - 1.0	6.63 - 10.00	3		
	Grado de presión (%): Vol. Concesionado/Agua renovable	0 - 20	1.00 - 2.50	1	1.05	1.05
		20 - 40	2.50 - 4.00	2		
		40 - 120	4.00 - 10.00	3		
	Tarifa/Costos de producción	0 - 1.0	10.00 - 9.74	3	9.86	29.59
		1.0 - 6.0	9.74 - 8.46	2		
		6.0 - 35.0	8.46 - 1.00	1		
<b>Capacidad de adaptación</b>	Eficiencia física (%)	0.40 - 0.50	10.00 - 8.50	3	3.56	3.56
		0.50 - 0.70	8.50 - 5.50	2		
		0.70 - 1.00	5.50 - 1.00	1		

Eficiencia comercial (%)	0.40- 0.50	10.00 – 8.50	3	3.80	3.80
	0.50 – 0.70	8.50 – 5.50	2		
	0.70 – 1.00	5.50 – 1.00	1		
<b>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD</b>					<b>84.25</b>

Los indicadores con mayor peso en el cálculo del índice de acuerdo a las condiciones de operación y administración de la CESPМ son eficiencia económica que representa el 35% del índice y confiabilidad de la infraestructura con un 32% del índice.

## 6.2 Identificación de medidas de adaptación

Considerando los efectos del cambio climático a nivel local a través del análisis de vulnerabilidad, se construyeron recomendaciones de adaptación fundamentadas en la gestión del agua a partir de los siguientes escenarios:

1. Escenario 1 (escenario base). Crecen las variables: nivel de precios, PIB y población a las tasas esperadas, la tarifa permanece constante y no hay inversión económica en ninguna de las variables que intervienen en el cálculo del índice.
2. Escenario 2. Crecen las variables: nivel de precios, PIB y población a las tasas esperadas, de acuerdo a los escenarios proyectados la temperatura aumenta 2.9° C respecto a la climatología base (1961-1990). No hay aumento de tarifas.
3. Escenario 3. Crecen las variables: nivel de precios, PIB y población a las tasas esperadas, de acuerdo a los escenarios proyectados la temperatura aumenta 2.9° C respecto a la climatología base (1961-1990), se mantienen los niveles de eficiencia física y comercial constantes.
4. Escenario 4. Crecen las variables: nivel de precios, PIB y población a las tasas esperadas, de acuerdo a los escenarios proyectados la temperatura aumenta 2.9° C respecto a la climatología base (1961-1990), se incrementan los niveles de eficiencia física. Se financia el incremento de eficiencia a través de las tarifas del agua.

## 6.3 Estimación de la demanda

Se llevó a cabo un análisis de regresión considerando que el consumo de agua está en función del precio, ingreso y de variables climatológicas que influyen en él para determinar las correlaciones entre estas variables y estimar el volumen consumido al año 2030 en la ciudad de Mexicali.

Los datos sobre volumen facturado, tarifa, Producto Interno Bruto y población, se obtuvieron para un periodo de 2002-2011 de acuerdo a las publicaciones del Programa de Indicadores de

Gestión en Organismos Operadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2009). La variable climatológica, corresponde a la temperatura promedio anual para el periodo 2002-2011 de acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA, 2010).

Los datos de demanda o volumen consumido corresponden al líquido que se consume por cada habitante; considerando que no todo el volumen producido llega al usuario, el cálculo considera el volumen de agua facturada entre la población lo que toma en consideración el agua no contabilizada.

En la siguiente tabla se muestran los datos utilizados para la estimación de la demanda así como los resultados obtenidos del análisis de regresión.

De acuerdo a los resultados de la estimación, la demanda para la ciudad de Mexicali esta dada por la siguiente ecuación:

$$LQ_{CON} = -0.29487 LPRE_{PROM} + 0.17876 LPREC_{PROM} + 0.185881 LTEMP_{PROM} + 0.042861(Dummy)$$

Donde:  $LQ_{CON}$  = Logaritmo de la cantidad de agua consumida;  $LPRE_{PROM}$  = Logaritmo del precio promedio;  $LPIB$  = Logaritmo del Producto Interno Bruto;  $LPREC_{PROM}$  = Logaritmo de la precipitación promedio y  $LTEMP_{PROM}$  = Logaritmo de la temperatura promedio.

#### 6.4. Índice de vulnerabilidad y estimación de costos de adaptación.

De acuerdo a los escenarios planteados, se definieron para cada uno de ellos los cambios en las variables climáticas, los incrementos porcentuales de los indicadores de desempeño y las tasas de crecimiento de población, PIB y tarifas.

El índice de vulnerabilidad es calculado al 2030 bajo el supuesto de que dichas medidas permitirán disminuir el nivel de vulnerabilidad ante un escenario de cambio climático y finalmente se presentan los costos de adaptación que corresponden al incremento de los egresos respecto al escenario base.

## 7. RESULTADOS

**Escenario 1;** el índice de vulnerabilidad se incrementa 2 puntos, de 98.6 a 100.6. Este incremento esta dado en su mayoría por el crecimiento poblacional. Considerando que la población se incrementa, el consumo per cápita, medido en litros/habitante/día se reduce ligeramente de 188 a 179 l/h/d. Si bien la disminución de la demanda reduce la vulnerabilidad, el indicador de disponibilidad la aumenta ya que el crecimiento de la población incrementa el volumen consumido total y considerando que la capacidad instalada no cambia, se reduce el volumen disponible para satisfacer las demandas de agua potable. Sin efecto climático, no hay costos.

**Escenario 2;** A diferencia del escenario base el índice de vulnerabilidad se incrementa en promedio 8 puntos; la tendencia creciente de la vulnerabilidad al igual que las caídas se explican como consecuencia del incremento de la temperatura que si bien varía anualmente, tiende a incrementar durante el periodo proyectado Si bien los indicadores de desempeño permanecen constantes, al incrementarse la demanda (ya sea únicamente por el crecimiento de la población o considerando el cambio climático) el organismo operador se ve obligado a incrementar el volumen producido y cobrado en la misma proporción que la demanda. Esta diferencia entre los costos de producción totales depende fuertemente de los cambios de temperatura y tiende a incrementar con el tiempo. Este incremento de costos representa el impacto económico del cambio climático en el proceso de producción, distribución y suministro de agua potable el cual asciende a cerca de 194 millones de pesos, un 20% de los costos totales correspondientes al año 2010.

**Escenario 3;** éste escenario responde a una política de precios la cual busca disminuir la demanda de agua potable de los consumidores y aumentar la recaudación del organismo operador. De acuerdo a dicha política de precios, el incremento de la tarifas reduce el índice de vulnerabilidad en cerca de 9 puntos tomando como referencia el valor al 2010. El segundo efecto del incremento de la tarifa se refleja en la demanda la cual se reduce un 24% al 2030 comparado con el escenario 2 en el que hay una reducción del 4%.

Así, considerando que el volumen consumido se reduce y por lo tanto los costos de producción, las diferencias entre los costos de este escenario y los costos del escenario de 2 (con cambio climático) resultan negativos, es decir, generan ahorros.

Este incremento en las tarifas debe tener, sin embargo, un costo social que no está calculado en este trabajo y que podría medirse como la pérdida en bienestar.

**Escenario 4;** éste planteamiento corresponde a un incremento en las tarifas y la eficiencia física ya que tomando en cuenta los resultados obtenidos en el escenario 3, el incremento de las tarifas tiene un impacto importante en la reducción de la demanda además de generar ahorros importantes que permitirán invertir en el mantenimiento de la red de agua potable y reducir los niveles de agua no contabilizada. El índice de vulnerabilidad es ligeramente menor al escenario 3, sin embargo dicha diferencia tiende a incrementar con el tiempo dado que el aumento en la eficiencia física favorece aún más la capacidad de adaptación del organismo operador. En este escenario los costos totales incluyen las inversiones realizadas por reparación de fugas sin embargo, aún con dicho incremento de costos los ahorros resultan mayores que únicamente implementar una política de precios.

## 8. CONCLUSIONES

En este trabajo se describió la propuesta metodológica que tiene como objetivo calcular los costos de adaptación al cambio climático para un Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. La principal aportación de este trabajo es relacionar el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático con la vulnerabilidad ya que, si bien la adaptación tiene un costo, los factores de sensibilidad y capacidad de adaptación considerados en el análisis de sensibilidad son los que determinan la magnitud de los efectos que un mismo fenómeno climático pueda causar, por lo cual resulta fundamental conocer los factores que vuelven susceptible a un organismo operador a fin de moderar los daños potenciales y enfrentar las consecuencias de este.

Para realizar los cálculos que se han mostrado en este trabajo, fue necesario definir la reacción que podría tener un planificador encargado de manejar el organismo operador de agua potable. A estas posibles formas de reacción se les denominó escenarios.

Como es obvio, la opción de no reaccionar ante el cambio climático es la opción más costosa y que mayor incremento en la vulnerabilidad produce, sin embargo, para el caso específico de Mexicali, los costos de cero actividad no son significativos.

Los escenarios donde el planificador actúa con alguna medida de política, específicamente con una política de precios, se logran ahorros en los costos de operación y mantenimiento, además que simultáneamente se logra una disminución sostenida del índice de vulnerabilidad para el organismo operador.

Cabe señalar que no se incluyeron cálculos en la pérdida de bienestar que se producirían al aumentar las tarifas de agua potable.

Se mostró que es posible desarrollar una metodología para el cálculo de los costos de adaptación para el cambio climático en un organismo operador siempre y cuando exista la información de costos unitarios de producción en el organismo operador.

En el caso de Mexicali es un caso especial debido a que cuenta con el suministro de agua potable asegurado como consecuencia del convenio que los gobiernos de México y de Estados Unidos para transferir agua de la cuenca del río Colorado. Además Mexicali cuenta con niveles de eficiencia muy altos, estos dos elementos juntos producen una situación de poca vulnerabilidad en el organismo. Esto explica los bajos costos de adaptación al cambio climático que se han encontrado para el caso de Mexicali.

## REFERENCIAS

- CONAGUA. (2010). *Servicio Meteorológico Nacional*. Recuperado el octubre de 2012, de [smn.conagua.gob.mx](http://smn.conagua.gob.mx)
- CONAGUA. (2011). *Estadísticas del Agua en México, edición 2011*. México: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2011). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2011*. México: SEMARNAT.
- Cromwell, J. E., Smith, J. B., & Raucher, R. S. (2007). *Implications of Climate Change for Urban Water Utilities*. Washington, D.C.: Association of Metropolitan Water Agencies.
- Danilenko, A. (2010). *Climate Change and Urban Water Utilities: Challenges & Opportunities*. España: Water Sector Board of the Sustainable Development Network of the World Bank Group.
- IMTA. (2009). *Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores*. Recuperado el 25 de Junio de 2012, de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua: <http://www.pigoo.gob.mx>
- IPCC. (2001). *Cambio climático 2001: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del grupo de Trabajo II al Tercer Informe de Evaluación*. Ginebra.
- Montero, M. (2010). Escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máxima y mínima. En P. F. Martínez Austria, & C. Patiño Gómez, *Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático* (págs. 39-63). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.



UNFCCC. (2007). *Manual sobre Evaluaciones de Vulnerabilidad y Adaptación*. Germany: United Nations Framework Convention on Climate Change.

WUCA. (2010). *Decision support planning methods: incorporating climate change uncertainties into water planning*. Denver, Arizona: WUCA.



# RIESGO A DESLIZAMIENTOS DE LADERAS EN SIETE MICROCUENCAS DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA EL TRIUNFO

Walter LÓPEZ BÁEZ<sup>1</sup>, Reynol Magdaleno GONZÁLEZ<sup>2</sup>, Itzel CASTRO MENDOZA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Investigadores del Campo Experimental Centro Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa Chiapas, e-mail: [lopez.walter@inifap.gob.mx](mailto:lopez.walter@inifap.gob.mx) , [castro.itzel@inifap.gob.mx](mailto:castro.itzel@inifap.gob.mx)

<sup>2</sup> Profesor investigador de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,

## RESUMEN

Está demostrado que las actividades humanas (como consumo de energía fósil o el cambio de uso de suelo) son agentes causales del cambio climático. Las catástrofes naturales van en aumento y en las situaciones de emergencia, los grupos más vulnerables (los pobres, los ancianos, las mujeres y los niños) son los que más sufren de hambre y privaciones. La gestión de riesgos de desastres desempeñará una función cada vez mayor en la intervención respecto a los efectos del cambio climático en la seguridad alimentaria y es preocupación de las políticas públicas en la actualidad. Una de las estrategias para mitigar el cambio climático es la conservación de Áreas Naturales Protegidas (ANP's). La Reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI) ubicada en Chiapas se considera a nivel mundial como un área importante para el resguardo de los ecosistemas que contribuyen a mantener los equilibrios globales en el planeta. Se ubica en la cima de la Sierra Madre de Chiapas por lo que presenta una orografía accidentada, importante para la recarga hídrica, pero también como un área con alto riesgo a desastres por deslizamiento de laderas e inundaciones para alrededor de 400 mil habitantes, áreas productivas, infraestructura para el desarrollo y para áreas estratégicas de conservación, entre otros. Este riesgo se ha incrementado por la ampliación de la frontera agropecuaria y recientemente por los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico. Por lo anterior el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas Pecuarias (INIFAP) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) unieron esfuerzos a través del Programa de Adaptación al Cambio Climático (CONANP, 2011) para realizar el estudio de ubicación espacial de las áreas con mayor riesgo a deslizamiento de laderas en siete microcuencas de la REBITRI. Los mapas y recomendaciones resultado del estudio, fueron elaborados con la participación de las comunidades y con un enfoque territorial de cuencas. Se enmarca dentro del objetivo de fomentar la investigación aplicada a la prevención local, señalado en el Programa Municipio Seguro Resistente a Desastres impulsado por la Secretaría de Gobernación (SEGOB, 2012).

**Palabras clave:** REBITRI, riesgo, peligrosidad, vulnerabilidad, microcuenca, deslizamiento, desastres, ladera.

## 1. INTRODUCCIÓN

Está demostrado que las actividades humanas son agentes causales de las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero y por lo tanto del aumento paulatino de la temperatura en el planeta, lo cual ha traído como consecuencia modificaciones en los patrones de precipitación, cambios en la intensidad o en la frecuencia de eventos climáticos extremos, reducción de la criósfera y un incremento del nivel del mar (Naciones Unidas, 1998; Caparros, 2007; SHCP, 2009).

Actualmente el cambio climático es causa de preocupación para las políticas públicas, tanto desde una perspectiva global como a nivel de las afectaciones locales por representar serios riesgos para la viabilidad del progreso económico y el bienestar de la población. En las próximas décadas, la humanidad tendrá que enfrentar el reto simultáneo de adaptarse a los impactos originados por las nuevas condiciones climáticas, al mismo tiempo, que se instrumenta una estrategia global de mitigación.

Las catástrofes naturales están aumentando y el calentamiento del planeta permite prever mayor frecuencia e intensidad en el futuro. En las situaciones de emergencia, los grupos más vulnerables son los que más sufren de hambre y privaciones. La gestión de riesgos de desastres desempeñará una función cada vez mayor en la intervención respecto a los efectos del cambio climático en la seguridad alimentaria (FAO, 2010).

Entre las medidas estratégicas para mitigar el cambio climático se encuentra la conservación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP's), debido a que la pérdida de bosques naturales en todo el mundo contribuye más a las emisiones globales anuales de carbono que el sector de transportes. Por ello, conservar las ANP's seguirá jugando un papel importante para la detención de la deforestación por ser una manera altamente rentable de reducir las emisiones de carbono (Stern, 2007), además de contribuir a la conservación de la biodiversidad, la producción de alimentos, la fertilidad de los suelos y el mantenimiento de los servicios ambientales que regulan el clima, generan energía y sostienen la disponibilidad de agua (The Nature Conservancy, 2005).

La Reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI), ubicada en Chiapas, se considera a nivel mundial como un área importante en cuanto al resguardo de los ecosistemas por la provisión de una amplia gama de servicios a la sociedad y de regulaciones que contribuyen a mantener los equilibrios globales en el planeta. Su ubicación en la cima de la Sierra Madre de Chiapas la caracteriza como una zona de orografía accidentada e importante de recarga hídrica, pero también como un área con alto riesgo a desastres por deslizamiento de laderas e inundaciones para alrededor de 400 mil habitantes, áreas productivas, infraestructura para el desarrollo y para áreas estratégicas de conservación, entre otros. Este riesgo se ha incrementado por la ampliación de la frontera agropecuaria y recientemente por los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico.

Tomando en cuenta que el punto de partida para la reducción de cualquier riesgo es un diagnóstico que permita conocer sus características, su distribución espacial y la manera como impacta en la población, en los activos productivos, en la infraestructura para el desarrollo y en el medio ambiente, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas Pecuarias (INIFAP) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) unieron esfuerzos a través del Programa de Adaptación al Cambio Climático (CONANP, 2011) para realizar el estudio de ubicación espacial de las áreas con mayor riesgo a deslizamiento de laderas en siete microcuencas de la REBITRI.

En esta publicación se presentan los resultados obtenidos con el propósito de que sean usados como una herramienta de apoyo para mejorar la toma de decisiones de los tres niveles de gobierno y de la sociedad civil, con respecto a la implementación de acciones de conservación y/o prevención de desastres en las áreas con mayor riesgo y vulnerabilidad, bajo el argumento de que el conocimiento es el mejor aliado para reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático.

## **2. ÁREA DE ESTUDIO**

La REBITRI se localiza en la parte central de la Sierra Madre de Chiapas, en las coordenadas geográficas 15° 09'10" y 15° 57'02" de latitud norte y 92° 34'04" y 93° 12'42" de longitud oeste. Cuenta con una superficie

de 119,177.29 ha (Figura 1). De acuerdo al Diario Oficial de la Federación (1990), del total de la superficie, 93,414.31 ha conforman la Zona de Amortiguamiento y 25,763 ha corresponden a la Zona Núcleo.

De acuerdo al estudio realizado en el año 2007 por la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés) y el Servicio Forestal del mismo país (US Forest Service, por sus siglas en inglés), esta reserva está catalogada como una zona de peligro natural para la ocurrencia de desastres por derrumbes e inundaciones, debido a la interacción de diversos factores como la forma y el tamaño pequeño de sus cuencas, la orografía accidentada con fuertes pendientes en cortas distancias, lluvias intensas y de larga duración, rocas graníticas que producen sedimentos gruesos y rocas con uniones frágiles y fracturadas. A lo anterior se suma el peligro inducido por la ampliación de la frontera agropecuaria a expensas de los bosques en las partes altas, los incendios y los caminos mal construidos, y últimamente los impactos del cambio climático en el ciclo hidrológico.



**Figura 1.** Ubicación de la Reserva de la Biósfera El Triunfo. Fuente: Comisión Nacional de Bioseguridad (CONABIO)

Por su parte, la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana de Chiapas (2008), considera a los 11 municipios conectados hídricamente con la Reserva de la Biósfera El Triunfo como vulnerables a fenómenos hidrometeorológicos, así lo demuestran los daños ocasionados por los huracanes “Mitch” en 1998, “Stan” en 2005 y “Matthew” en 2010, los cuales variaron desde la interrupción o falta de los servicios básicos (energía eléctrica, agua potable, alimentos, combustibles, servicios administrativos, etc.) y daños a activos productivos, hasta la pérdida de vidas humanas. Cabe señalar que dentro de la reserva habitan alrededor de 400,000 habitantes distribuidos en 27 ejidos, 222 propiedades y un bien comunal (CONANP, 2008).

En este contexto y como parte del Programa de Adaptación al Cambio Climático implementado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas en el año, fueron seleccionadas siete microcuencas de la Reserva de la Biósfera El Triunfo para determinar su nivel de riesgo y vulnerabilidad a deslizamiento de laderas.

Todas las microcuencas estudiadas se caracterizan por tener su máxima altura en el parte aguas de la Sierra Madre y haber sido afectadas por desastres ocasionados por derrumbes e inundaciones.

Las microcuencas de los ríos El Naranjo, Prusia y La Suiza drenan hacia el Río Grijalva en la depresión central del estado y son parte de la Región Hidrológica No. 30 conocida como Grijalva-Usumacinta; por su parte las microcuencas de los ríos Margaritas, Novillero, San Nicolás y Rosario drenan hacia el océano Pacífico y son parte de la Región Hidrológica No. 23 conocida como “Costa de Chiapas (CONAGUA, 2012).

En el Cuadro 1 se presentan las principales características de las microcuencas estudiadas y en la Figura 2 su ubicación dentro de la Reserva de la Biósfera El Triunfo.

**Cuadro 1.** Ubicación, superficie y población de las microcuencas estudiadas.

Microcuenca	Municipio	Superficie (Ha)	Población <sup>1</sup>
Río El Naranjo	La Concordia	10,859.4	1,781
Río La Suiza	Monte Cristo de Gro.	6,437.1	1,300
Río Novillero	Pijjiapan-Mapastepec	5,372.7	360
Río Margaritas	Pijjiapan	4,206.8	740
Río Prusia	Angel Albino Corzo	5,147.7	412
Río Rosario	Acacoyahua-Escuintla	5,588.7	352
Río San Nicolás	Mapastepec	10,160.0	553

<sup>1</sup>Catálogo de localidades de SEDESOL



**Figura 2.** Ubicación de las microcuencas estudiadas

### 3. METODOLOGÍA

### 3.1 CONCEPTUALIZACIÓN

Según el CENAPRED (2006), un riesgo ocurre cuando se presentan las siguientes dos condiciones:

1. Hay presencia de un agente perturbador ya sea natural o generado por el hombre, y;
2. Este agente, está ligado con la probabilidad de ocasionar daños a un sistema afectable (asentamientos humanos, infraestructura, agricultura, etc.) en un grado tal, que constituye un desastre.

De esta forma, la ocurrencia de un fenómeno natural no constituye un riesgo por sí mismo, ya que para ser considerado como tal, sus efectos deben tener un impacto en factores donde intervenga el ser humano; en caso contrario no se puede considerar un desastre.

Bajo el contexto anterior, el riesgo puede ser expresado en función a la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} + \text{Vulnerabilidad}$$

Donde:

*Riesgo:* Es la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores.

*Peligro:* Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno (natural o inducido por el hombre) potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado.

*Vulnerabilidad:* Es la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador.

### 3.2 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

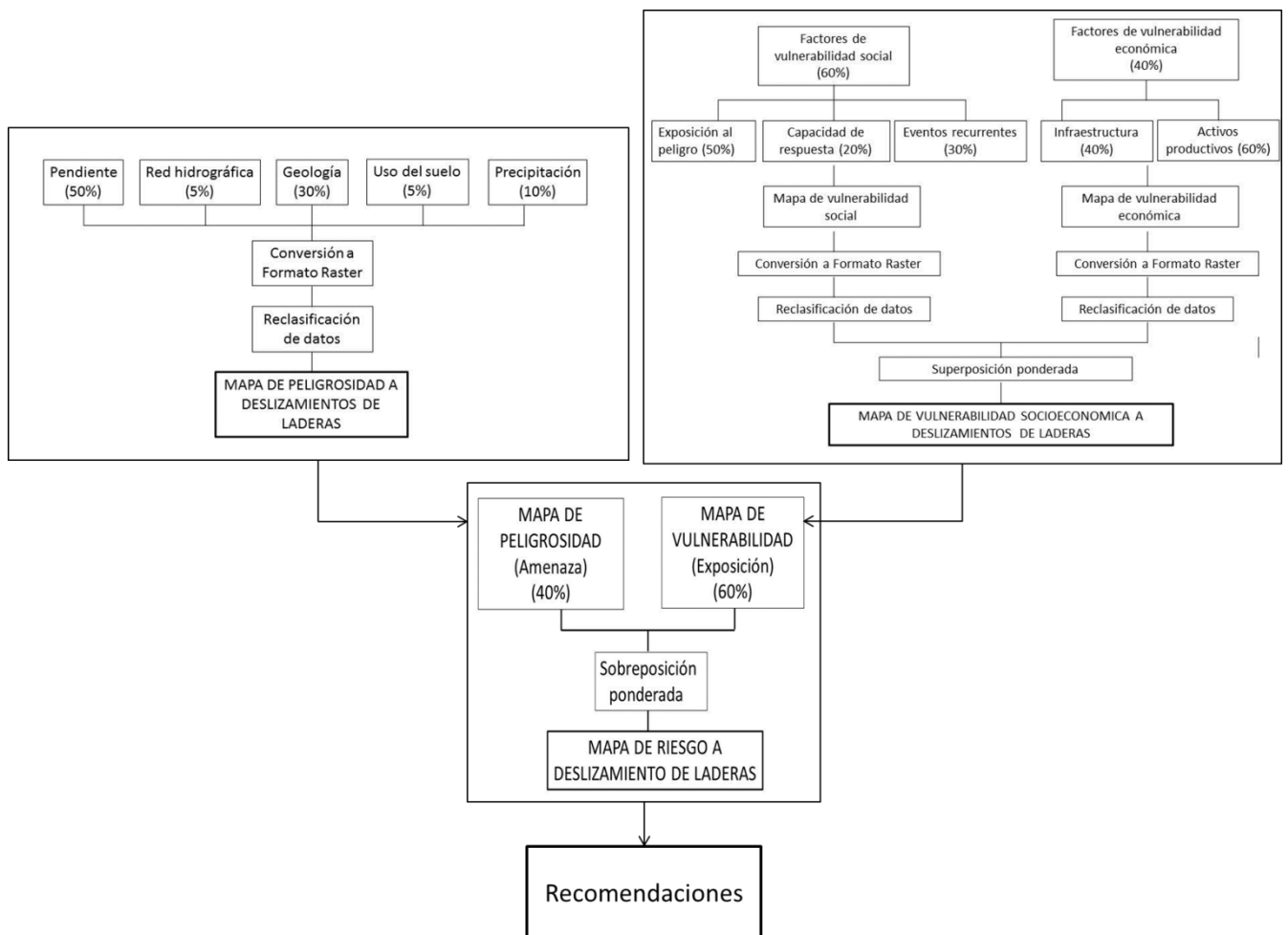
Debido a que el deslizamiento de laderas es un fenómeno definido por la interacción de una serie de variables, se utilizó el análisis multicriterio para determinar el nivel de riesgo de deslizamiento de laderas (Barredo, 1996; Romero, 1996). Se organizó un equipo de trabajo integrado por profesionales de diferentes disciplinas y pobladores clave de las localidades de cada microcuenca.

La elaboración del mapa de riesgo se realizó a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) mediante los pasos que se muestran en la figura 3.

Para analizar con mayor detalle la distribución espacial del peligro, la vulnerabilidad y los riesgos dentro de la microcuenca, el territorio fue dividido en nanocuecas que son espacios más pequeños delimitados bajo el mismo principio de la microcuenca. Esta división más pequeña del territorio permitió generar recomendaciones específicas dentro de la microcuenca.

Las recomendaciones fueron formuladas a partir de lo siguiente:

- a) Las observaciones en los recorridos de campo.
- b) La información obtenida durante las entrevistas en las comunidades.
- c) Los resultados de los proyectos de investigación y transferencia de tecnología implementados por el INIFAP dentro de la reserva de la Biósfera El Triunfo.
- a) Lo señalado en la guía de Parker *et al.*, (2009) para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producto de la deforestación y la degradación ambiental.
- b) Las recomendaciones de Schroth *et al.*, (2009) como estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático para los ecosistemas cafetaleros de la Sierra Madre de Chiapas,
- c) Las recomendaciones de Arellano y López (2001 y 2009) para la conservación del suelo y agua a nivel de microcuencas.
- d) Los principios para una agricultura de conservación señalados por FAO (2012) y CIMMYT (2012) y UICN (2008).
- e) La experiencia de los autores.



**Figura 3.** Metodología



## 4. RESULTADOS

En el Cuadro 2 se aprecian los resultados del riesgo al deslizamiento por microcuenca, las localidades que han sido históricamente afectadas por deslizamientos en laderas y aquellas reubicadas.

## 5. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones fueron agrupadas en los siguientes rubros:

- a) Evitar la actividad humana en las áreas con peligro natural
- b) Fomentar la conservación de las áreas montañosas con vegetación natural
- c) Reorientar el uso del suelo agropecuario a zonas de menor riesgo
- d) Implementar programas de conservación de suelo y agua con enfoque de cuencas.

**Cuadro 2.** Resultados por microcuenca

Microcuenca	RIESGO A DESLIZAMIENTO (%)				OBSERVACIONES	LOCALIDADES AFECTADAS POR DESLIZAMIENTO EN LADERAS	LOCALIDADES REUBICADAS
	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO			
La Suiza	78.90	4.50	16.20	0.40	1. Las zonas de riesgo alto a muy alto se ubica la mayor concentración poblacional, infraestructura y de áreas cafetaleras 2. Deforestación por expansión de cafetales	11 de 11	0
El Naranjo	81.87	4.54	9.60	3.99	1. Las zonas de riesgo alto a muy alto se ubica la mayor concentración poblacional, infraestructura y de áreas cafetaleras 2. Deforestación por expansión de cafetales	0 de 2	0
El Novillero	92.40	4.00	3.00	0.60	1. Las zonas de riesgo alto a muy alto se ubica la mayor concentración poblacional, infraestructura y de áreas cafetaleras 2. Deforestación por expansión de cafetales	3 de 3	0

Las Margaritas	86.29	5.28	5.90	2.50	1. Las zonas de riesgo alto a muy alto se ubica la mayor concentración poblacional, infraestructura y de áreas cafetaleras 2. Deforestación por expansión de cafetales	4 de 4	2
Prusia	74.32	3.12	17.90	4.66	1. Las zonas de riesgo alto a muy alto se ubica la mayor concentración poblacional, infraestructura y de áreas cafetaleras 2. Deforestación por expansión de cafetales	3 de 3	0
Rosario Zacatonal	91.08	2.55	5.70	0.70	1. Las zonas de riesgo alto a muy alto se ubica la mayor concentración poblacional, infraestructura y de áreas cafetaleras 2. Deforestación por expansión de cafetales	5 de 5	1
San Nicolás	93.35	1.07	3.90	1.70	1. Las zonas de riesgo alto a muy alto se ubica la mayor concentración poblacional, infraestructura y de áreas cafetaleras 2. Deforestación por expansión de cafetales	4 de 5	1

- a) Acciones de restauración y protección en las áreas de interés colectivo (camino, puentes, fuentes de agua, etc.).
- b) Fortalecer el capital humano y social tanto para prevenir como para tener capacidad de respuesta ante la ocurrencia de un desastre por deslizamiento.
- c) Implementar acciones de reubicación concertadas con la población en comunidades de alto riesgo.

## 6. REFERENCIAS

1. Arellano, M. J. L. y López, M. J. 2001. *Transferencia de tecnología para la conservación del suelo y agua a nivel de microcuencas en las unidades de drenaje de Chiapas*. Memorias del XI Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 5 Manejo Integral de Cuencas. Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación, A. C. (ANEI). Guanajuato, Guanajuato. México.
2. Arellano, M. J. L. y López, M. J. 2009. *Resiliencia y vulnerabilidad en las cuencas de la Sierra Madre de Chiapas, México*. Leisa, Revista de Agroecología, Marzo de 2009. pp. 17-19.
3. UINC. 2008. *Agricultural Ecosystem: Facts and Trends. International Union for Conservation of Nature. Switzerland*. 20 p.

4. Barredo Cano, J.I. 1996. *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio*. Editorial RAMA Madrid. 264 pp.
5. Barredo J. I., y Bosque J. S. 1999. *Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment*. *Geographical Systems* 5:313-327.
6. CENAPRED. 2006. *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos. Conceptos básicos peligros, riesgos y su representación geográfica*. Secretaría de Gobernación. México, D.F. 165 p
7. Caparros, G. A. 2007. *El informe Stern sobre la Economía del Cambio Climático*. *Ecosistemas* 16(1):124-125.
8. CONAGUA.2012. *Mapas de Regiones Hidrológicas de México*. Consultado el 15 de junio de 2012 en. <http://siga.cna.gob.mx/mapoteca/regiones%20hidrologicas/mapareghidro.htm>
9. CIMMYT. 2012. *¿Qué es la Agricultura de Conservación. MasAgro? Modernización sustentable de la agricultura tradicional*. En: <http://conservación.cimmyt.org/>
10. CONANP. 2008. *Programa de manejo y conservación de la Reserva de la Biósfera El Triunfo. Extracto para revisión del consejo asesor*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 87 p.
11. CONANP. 2011. *Lineamientos para el otorgamiento de apoyos del programa de adaptación al cambio climático en regiones prioritarias de los estados de Chiapas y Tabasco (PROACC)*. 25 p.
12. Diario Oficial de la Federación. 1990. *Decreto del Ejecutivo Federal publicado del 13 de marzo del año 1990, mediante el cual se declara la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Notas sobre la Reserva de la Biósfera El Triunfo*.
13. FAO. 2010. *Cambio climático y gestión de riesgos de desastres*. En: [www.fao.org/foodclimate](http://www.fao.org/foodclimate). 2 p.
14. FAO. 2012. *Agricultura de Conservación*. En: <http://www.fao.org/ag/ca/es/index.html>
15. Naciones Unidas. 1998. *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. 24 p.
16. Parker Ch., Mitchell A., Trivedi M. y Mardas N. 2009. *El pequeño libro de REDD. Una guía de propuestas gubernamentales y no gubernamentales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producto de la deforestación y la degradación ambiental*. Global Canopy Programme. 120 p.
17. Schroth, G., Laderach, P., Dempewolf, J., Philpott, S., Haggar, J., Eakin, H., Castillejos, T., García Moreno, J., Soto Pinto, L., Hernández, R., Eitzinger, A., & Ramírez-Villegas, J. 2009. *Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico*. *Mitigation and Adaptation Strategies to Global Change*.
18. SHCP. 2009. *La economía del cambio climático en México: Síntesis*. Dr. Luis Miguel Galindo, Coordinador. SHCP-SEMARNAT. 67 p.
19. Stern, N. 2007. *Stern Review on the Economics of Climate Change*. en: [www.sternreview.org.uk](http://www.sternreview.org.uk). Consultado el 29 de junio de 2011.
20. The Nature Conservancy. 2005. *Sierra Madre y Costa de Chiapas. La Sepultura, El Triunfo y La Encrucijada*. CONANP, IHNE, Fondo de Conservación El Triunfo y The Nature Conservancy. 16
21. USAID and US Forest Service, 2007. *Landslides, Channel Erosion, and Sedimentation in the Western Sierra Madre, Chiapas, Mexico, During Hurricane Stan in 2005: A Brief Field Review with Recommendations*. 24 p.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo a The Nature Conservancy y al Ministerio de Ambiente de Federal de Alemania (BMU).

# MORELIA, MICHOACÁN. 2013

