



IV CONGRESO
NACIONAL

**MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

IV CONGRESO NACIONAL **2016**
Xalapa, Veracruz, México

**MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**

DEL 26 AL 28 DE OCTUBRE

SITIO WEB: www.iv-congreso-cuencas.org
INFORMES: congresocuencas@fogomex.org

Logos of participating organizations: SEMARNAT, Veracruz, SEDIMA, INECC, Global Water Watch, CONANP, CONAEO, INECC, Global Water Watch, CEA, FGM, FLADYRA S.C., CMAS, and others.

MEMORIAS EN EXTENSO DE PONENCIAS ORALES

SECCIÓN I DE III

26 DE OCTUBRE DE 2016



IV CONGRESO
NACIONAL

MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

“Memoria del IV Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas”

Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, SENDAS A. C.

Xalapa, Veracruz, Octubre 2016

Editores:

Dr. Marco Antonio Espinoza-Guzmán. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana (UV)

Antrop. Georgina Vidriales Chan. Senderos y Encuentros para un Desarrollo Autónomo
Sustentable, A.C. (SENDAS)

Dra. Clementina Barrera Bernal. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana (UV)

M.C. Miriam Ramos Escobedo, Global Water Watch-México, A.C. (GWW-México)

Revista electrónica: Avances y Perspectivas en Biotecnología y Ecología Aplicada, INBIOTECA-
Universidad Veracruzana

ISSN: En trámite

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.

LOS CONTENIDOS SON RESPONSABILIDAD ÚNICA DE SUS AUTORES



PRESENTACIÓN

Manejo de Cuencas Hidrográficas en el Contexto de Cambio Climático, un título audaz y pertinente para un congreso que en su cuarta emisión sigue en la búsqueda de la integración de diversos saberes para el manejo de cuencas donde los sistemas se nutren de su complejidad: social, ambiental cultural y económica.

Las propuestas de investigación, intervención y acción que incluyen esta Memoria, no es más que la suma de las múltiples alternativas desde diferentes visiones para abordar la cotidiana complejidad con un enfoque de cuenca, de los 354 trabajos sometidos se seleccionaron 182, mismos que se presentan en tres secciones, en extenso o sólo en la modalidad de resumen.

No deja de asombrar la diversidad de temas que se abordan desde diferentes campos del conocimiento, muchos de ellos especializados, multidisciplinarios e interdisciplinarios, todos en la búsqueda de la conservación de los recursos naturales que dan sustento a nuestra vida en el planeta.

Conforme el conocimiento humano avanza en la comprensión de las interrelaciones del medio natural y del impacto de nuestra especie sobre el mismo, es de importancia incorporar la dimensión de Cambio Climático a los trabajos en cuenca, pues es una realidad que nos ha alcanzado e impacta cotidianamente en la forma en que nos relacionamos con nuestro entorno, pues es cierto que todos vivimos en una cuenca.

El Cambio Climático sucede en la tierra desde hace millones de años, sin embargo, el uso de combustibles fósiles desde la era de la industrialización ha modificado los patrones del clima, una historia poco narrada en la historia de la humanidad, por primera vez documentada y sorprendentemente cambiante.

Esperemos que este tipo de eventos siga aportando al mejor conocimiento sobre las cuencas y alternativas para el manejo, gestión y/o cogestión de las mismas, a fin de sostener los servicios ecosistémicos que nos dan vida.

Comité Editorial

Octubre 2016



Índice

Mesa 1. Diagnósticos, modelos y análisis de procesos biofísicos a nivel de cuenca.	9
Extenso ID: 92 Humberto Pérez-Pérez ^a , Lyssette E. Muñoz-Villers ^b . IMPACTO DEL CAMBIO EN EL USO DEL SUELO EN LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA DEL SUELO Y SUS IMPLICACIONES HIDROLÓGICAS (CENTRO DE VERACRUZ MÉXICO).	10
Extenso ID: 78 Eréndira A. Arellano-Leyva ^a , Lyssette E. Muñoz-Villers ^b ESCURRIMIENTO PLUVIAL DE UNA AZOTEA VEGETADA VERSUS UNA AZOTEA COMÚN, CIUDAD DE MÉXICO.	22
Extenso ID: 112 Wenceslao Tobias Vásquez Pérez ¹ , Ronald Ernesto Ontiveros Capurata ² RELACIÓN PRECIPITACIÓN – CAUDAL EN TRES MICROCUENCAS DE LA SIERRA JUÁREZ, OAXACA, MÉXICO	35
Extenso ID: 321 Edelmira Ibarra Concepción ^a , María Elena GRANADOS GARCÍA, Juan Carlos GONZÁLEZ CORTÉS ^a , Carlos Alberto RAMÍREZ MANDUJANO ^a . Recuperación de zonas con diferentes tipos de degradación edáfica en la comunidad El escobal, municipio de morelia	45
Extenso ID: 309 Humberto Miguel Romero Uribe ^a , Robert Manson ^a , Isabelle Barois ^a y Bernardus de Jong ^b . CAMBIOS EN EL ALMACÉN DE C Y N TOTAL DEL SUELO A DIFERENTES PROFUNDIDADES Y DIFERENTES TIPOS DE USO DE SUELO, EN DOS SUBCUENCAS DEL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO	54
Extenso ID: 131. José Mariscal Romero ¹ , José Alfonso Valdez Cruz ² y Judith Arciniega Flores ³ . CUENCAS DE LA BAHÍA DE NAVIDAD, JALISCO: IMPACTOS E INUNDACIONES DE JOVA 2011 Y PATRICIA 2015	63
Extenso ID: 316. Esteban Chirino Miranda ^{ac} , María Elena Granados García ^b , Alberto Vilagrosa CARMONA ^{AC} BALANCE HÍDRICO EN PINARES CON DIFERENTE DENSIDAD DE ARBOLADO Y SU EFECTO SOBRE EL ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE ESTRATEGIA REBROTADORA	75
Extenso ID: 199. Miguel Ángel Domínguez Cortazar ^a , Rocío Rodiles Hernandez, ^b Iris Neri Flores ^C . LA NATURALIDAD DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL RÍO USUMACINTA ..	85
Extenso ID: 367. A. Muñoz- Hernández, Alex Mayer, E. Vivoni y A. Robles-Morua. DESARROLLO DE UN MODELO INNOVADOR ENTRE EL NEXO ENERGÍA-AGUA- ALIMENTOS EN SONORA: EL CASO DEL ACUEDUCTO INDEPENDENCIA	96
Mesa 2. Programas de PSA a nivel de cuenca: mecanismos de evaluación y fortalecimiento a nivel de cuenca.	97
Extenso ID: 33. Socorro Menchaca Dávila ^a , Karina Zapata Cuellar ^b PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES DESDE LA PERCEPCIÓN CIUDADANA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, VERACRUZ, MÉXICO.	98
Extenso ID: 35. David M. Torrez; Avila-Foucat V.S. REDES SOCIALES Y GOBERNANZA: LA EXPERIENCIA DE LOS MECANISMOS LOCALES DE LAS SUBCUENCAS DEL RÍO PIXQUIAC Y GAVILANES, VERACRUZ	107



Extenso ID: 370. Alex Mayer, Jacob Salcone, Heidi Asbjornsen, Z. Carter Berry, Russ Congalton, Randall Kolkka. Application of Coupled Human-Natural Systems Model for Assessing Trade-Offs Between Watershed Ecosystem Services in Veracruz, Mexico	120
Extenso ID: 369. EDÉN HERNÁNDEZ VÁSQUEZ. REFORESTACIÓN DE CUENCAS HIDROGRAFICAS A TRAVÉS DE LA COMPENSACIÓN AMBIENTAL	122
Extenso ID: 197. Kenia Arellano Llamas ^a . ¿QUÉ DEFINE EL ÉXITO DE LOS MECANISMOS DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN UNA CUENCA?	130
Extenso ID: 169. María Perevochtchikova ^a . EVALUACIÓN INTEGRADA DE EFECTOS DE PROGRAMA DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS EN AJUSCO, DISTRITO FEDERAL.....	138
Mesa 3. Ambientes ribereños y humedales, conexiones entre zonas altas y bajas de cuencas.	151
Extenso ID: 119. Robles Guadarrama Carlos Augusto, Pacheco Mamone Alejandra, Velasco Vázquez María de Lourdes, Ernesto Pereda Rivera, José Rodolfo Olmos Zepeda, Asael Angel Santiago. RESULTADOS PRELIMINARES DEL DIAGNÓSTICO RIPARIO EN SIETE EJIDOS DE LA CUENCA DEL RÍO HUAZUNTLAN	152
Extenso ID: 93. Luis Bravo-Inclán a, José Javier Sánchez-Chávez ^a , Ana Cecilia Tomasini-Ortiz ^a , Rebeca González-Villela ^a y Marco Mijangos-Carro ^a . REHABILITACIÓN LACUSTRE: CONEXIÓN ENTRE LA CUENCA Y EL LAGO DE PÁTZCUARO, MICHOACÁN.....	166
Extenso ID: 76. Cueto Espinosa Eliobeth. ESTADO ECOLÓGICO DEL BOSQUE DE RIBERA Y SU RELACIÓN CON AZOLVE EN MANGLARES EN LA CUENCA RÍO ZANATENCO, TONALÁ, CHIAPAS.	180
Extenso ID: 328. María Mercedes Castillo-Uzcanga ^a , Aarón Jarquín-Sánchez ^b , Arturo Torres Dosal ^c , Rocío Rodiles-Hernández ^d . NUTRIENTES EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO USUMACINTA: COMPARACIÓN ENTRE EL CAUCE PRINCIPAL Y LAS LAGUNAS DE INUNDACIÓN	192
Extenso ID: 51. Camacho-Valdez Vera ^a , Saenz-Arroyo María Andrea ^b , Rodiles-Hernández María del Rocío ^b , Navarrete-Gutierrez Darío ^b . VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN HUMEDALES. CASO ESTUDIO: DELTA DEL USUMACINTA, MÉXICO.....	198
Extenso ID: 7. Real-De-León, Elizabeth ¹ , Granados-Puerto, Silvia ¹ y Valdés-Lozano, David S. ¹ . BALANCE DE MATERIA EN LA CUENCA-CALETA XEL-HA Y OTRAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO	211
Extenso ID: 171. Karina de la Rosa Meza ^a , Mario Brambila Rodriguez ^b , Isaac Castillo Cruza, María de los Ángeles Carvajal ^c . EVALUACIÓN DE ZONAS DE RESTAURACIÓN PESQUERA EN MARISMAS NACIONALES, CON LA PARTICIPACIÓN DE PESCADORES	227
Mesa 4. Sistemas de monitoreo de cuencas.	240
Extenso ID: 125. Lorelí Carranza-Jiménez ^a , Robert H. Manson ^a , Gabriela Vázquez ^a , Alex Mayer ^b . NUTRIENTES (NO ₃ ⁻ , PR) Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN RÍOS DE PASTIZALES Y CAFETALES DEL CENTRO DE VERACRUZ: UN ENFOQUE DE MONITOREO ESTACIONAL Y EN TORMENTAS.	241



Extenso ID: 151. Ameyalli Rios-Vázquez ¹ , Alexis Joseph Rodríguez-Romero ¹ , Axel Eduardo Rico-Sánchez ¹ , Jacinto Elías Sedeño-Díaz ² , Eugenia López-López ¹ . EL BIOMONITOREO COMO UNA HERRAMIENTA POTENCIAL DE LA EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO BOBOS, VERACRUZ	253
Extenso ID: 12. José Manuel Vilchis Vilchis. IMPORTANCIA DEL MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO DE LA CUENCA, CASO CUENCA VALLE DE BRAVO-AMANALCO.....	265
Extenso ID: 206. Luis Andrés Gómez Urieta ^{1a} , Eduardo Gabino Aragon Chanona ^{2b} José Reyes Díaz Gallegos ^{3c} . ANÁLISIS DE LA DESTRUCCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS COSTEROS DE LA RIVIERA MAYA, UTILIZANDO FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMÁGENES DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUCIÓN	275
Extenso ID: 16. Álvarez-Gallegos, M ¹³ ., Vargas – Larreta, B ¹ ., Aguirre – Calderón, C. G ¹ ., Aguirre – Calderón, C.E. ¹ , Reza-Reza, K. ¹ . EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS OBRAS DE CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE SUELOS EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO NAZAS.	289
Extenso ID: 358. Víctor Hugo García Pacheco ^a , Eva Nayeli Guzmán Rodríguez ^b , Sergio Alberto Beauregard Mora ^c . RED DE ABASTO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC	298
Extenso ID: 74. Eduardo Aranda-Delgado ^a , Eduardo Castilleja Delgado ^a , Fernando Sotres Castillo ^a , Miriam G. Ramos-Escobedo ^b , Sergio Ruiz-Cordova ^c , Adriana Flores-Díaz ^d y Rolf Kral Sosa Acosta ^a . 10 AÑOS DE MONITOREO GWW EN RÍO PIXQUIAC EN ZONCUANTLA, COATEPEC, VER.	306
Extenso ID: 366. Cody Adkinsa, Miriam G. Ramos Escobedob, Alex Mayera, Robert Pastela, Robert Mansonc. RÍO MÍO – UNA APLICACIÓN DE CIENCIA CIUDADANA PARA LA COLECCIÓN Y PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LA SALUD DE RÍOS.....	319
Mesa 6. Procesos sociales y culturales con relación al manejo de cuencas.	320
Extenso ID: 132. Clara Margarita Tinoco-Navarro ^a , Raúl Pineda-López ^b , Gabriela Barrera-Aguirre ^c . PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA LA SUSTENTABILIDAD DEL CENTRO REGIONAL DE CAPACITACIÓN EN CUENCAS.	321
Extenso ID: 79. Salvador Luna Vargas ^a , Larisa I. Alcérreca Molina ^b , Irma B. Suárez Rodríguez ^c . EL APROVECHAMIENTO TURÍSTICO DEL AGUA EN LA HUASTECA POTOSINA: ALGUNOS RETOS ANTE SU NOMBRAMIENTO COMO GEOPARQUE UNESCO	330
Extenso ID: 135. Jorge Alejandro Negrete Ramírez ^a , Mará de Los Ángeles Piñar Alvarez ^b , Udavi Cruz Márquez ^c . CONSTRUCCIÓN DE IDENTIDAD DE CUENCA Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA. EXPERIENCIAS DE INTERVENCIÓN EDUCATIVA EN CUATRO MUNICIPIOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LA ANTIGUA, VERACRUZ, COMO CASOS DE ESTUDIO.	341
Extenso ID: 224. Blanca Elizabeth Cortina Julio y Enrique Portilla Ochoa. EDUCACIÓN Y PLANEACIÓN PARTICIPATIVA PARA EL MANEJO SUSTENTABLE EN COMUNIDADES RIBEREÑAS DEL SISTEMA LAGUNAR DE ALVARADO, VERACRUZ.	349
Extenso ID: 105. Rosalinda Uribe Visoso ¹ , Rita Vázquez del Mercado Arribas ² , Roberto Romero Pérez ³ . EDUCACIÓN Y CULTURA AMBIENTAL PARA IMPULSAR UNA GESTIÓN SOSTENIBLE EN LA MICROCUENCA LA VENTA.....	353



Extenso ID: 359. Dulce Livier Pérez Gámez. EL AGUA DE TU ESCUELA VIENE DE LA CUENCA "PROGRAMA DE FORMACIÓN DE COLECTIVOS ESCOLARES: AGENTES H ₂ O"	362
Extenso ID: 143. Alejandra Pacheco Mamone ^a , Carlos A. Robles Guadarrama ^b , María de Lourdes Velasco Vázquez ^c , Ernesto Pereda Rivera ^d . BALANCE HISTÓRICO Y ANÁLISIS DE PROCESOS COGNITIVOS REFERIDOS A UNA EXPERIENCIA DE RESTAURACIÓN INTEGRAL ECOLÓGICA EN LA SIERRA DE SANTA MARTHA, VERACRUZ.....	369
Extenso ID: 325. Leticia Villalobos Sampayo y Guadalupe Mariana Pacheco Vázquez. EL EFECTO URBANO EN EL RÍO ATOYAC Y SUS CONSECUENCIAS EN LA VIDA RITUAL Y COTIDIANA EN UN CENTRO DE PEREGRINAJE.	381
Mesa 7. Impacto de las actividades humanas sobre las cuencas.	392
Extenso ID: 177. Esther Galicia Hernández. UNA MIRADA HISTÓRICA DE LAS AFECTACIONES-IMPACTOS AL SISTEMA HÍDRICO DE LA MICROCUENCA DE LA CIUDAD DE PUEBLA. Siglos XIX y XX.....	393
Extenso ID: 291. Gersain Quiahua Alamillo. IMPACTOS SOCIO-AMBIENTALES EN LA CUENCA DE CUITZEO POR LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE MORELIA.	406
Extenso ID: 360. Fátima Guadalupe Lira Hernández ^{1a} y Diana Elisa Bustos Contreras ^{2b} VALORACIÓN SOCIAL DEL SERVICIO DE CONTROL DE AVENIDAS E INUNDACIONES EN LA MICROCUENCA DEL ARROYO DE AMOLES EN MOROLEÓN, GUANAJUATO.....	421
Extenso ID: 374. Sebastián Ricalde-Gonzalez ^a y María de los Ángeles Piñas-Alvarez ^b . IMPACTO DE ACTIVIDADES TURÍSTICAS SOBRE LA CUENCA DEL RÍO LA ANTIGUA. EL CASO DE JALCOMULCO, VERACRUZ, MEXICO	432
Extenso ID: 103. Eveline Woitrin Bibot. ALTERACIÓN DE LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS DE TEMPORAL EN LA CUENCA DEL RÍO SILAO, ESTADO DE GUANAJUATO: ¿CAUSAS CLIMÁTICAS O ANTRÓPICAS?	442
Extenso ID: 217. Carlos Alberto Velázquez Sanabria ^a , Alonso López Cruz ^b , Pedro Martínez Muñoz ^c , Miguel Sánchez Gómez ^d . IMPACTO DE ACTIVIDADES HUMANAS EN DOS CUENCAS DEL MUNICIPIO DE VILLAFLORES, CHIAPAS	453
Extenso ID: 71. Helena Cotler ^a , Carlos Arroyo ^c , Fabiola A. González ^e , Jorge Larson ^b , Javier Rodríguez ^d . EFECTOS DE LA INTENSIDAD DEL USO DEL SUELO SOBRE LAS FUNCIONES ECOLÓGICAS DEL SUELO Y LA INTEGRIDAD DE LAS CUENCAS	466
Extenso ID: 97. Swany Morteo Montiel ^a , Martha Bonilla Moheno ^a , Carlos A. Muñoz Robles ^b , Luciana Porter Bolland ^c y Edward A. Ellis ^d . FACTORES CATALIZADORES DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO EN ATZALAN, VERACRUZ: UN CASO DE TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO BOBOS..	475
Extenso ID: 274. Rafael Hernández-Guzmán ^{a*} , Arturo Ruiz-Luna ^b . DINÁMICA DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA Y USO DEL SUELO DE LA SUB-CUENCA DEL LAGO DE PÁTZCUARO, UTILIZANDO DATOS DE PERCEPCIÓN REMOTA.	490



Extenso ID: 298. Jannette Karina Campos Vara¹, Salvador Adame Martínez², Bruce Hunter³,
Edel G. Cadena Vargas⁴, Mario R. Martínez Menez⁵. LA CUENCA DEL VALLE DE TOLUCA,
UN ANÁLISIS DE 40 AÑOS DE CAMBIOS DE USOS DE SUELO Y SU INFLUENCIA EN
LA DEGRADACIÓN DE SUELO Y CALIDAD DEL AGUA 500



IV CONGRESO
NACIONAL

**MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Mesa 1. Diagnósticos, modelos y análisis de procesos biofísicos a nivel de cuenca.



Extenso ID: 92 Humberto Pérez-Pérez^a, Lyssette E. Muñoz-Villers^b. IMPACTO DEL CAMBIO EN EL USO DEL SUELO EN LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA DEL SUELO Y SUS IMPLICACIONES HIDROLÓGICAS (CENTRO DE VERACRUZ MÉXICO).

[Regresar al índice](#)

^aFacultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F., ubert@ciencias.unam.mx

^bCentro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F., lyssette.munoz@atmosfera.unam.mx

RESUMEN

El bosque mesófilo de montaña es un ecosistema muy valorado debido a su alta capacidad de infiltración, retención y recarga de agua en cuencas. La conductividad hidráulica saturada de campo (K_{fs}) es una propiedad estrechamente relacionada con las características físicas e hídricas del suelo, y es sensible a cambios por el uso y manejo del suelo. En el centro de Veracruz, el bosque mesófilo se distribuye entre los 1200 y 2550 m s.n.m., y pocos han sido los trabajos que han evaluado los impactos hidrológicos en el suelo por su conversión a otros tipos de vegetación. Este trabajo investigó la K_{fs} del suelo en superficie y su relación con la densidad aparente y contenidos de humedad del suelo, en tres cubiertas vegetales: bosque mesófilo, cafetal bajo sombra y plantación de caña de azúcar, sobre suelo Acrisol en la región Xalapa-Coatepec, Ver. Asimismo, se compararon las K_{fs} de cada cobertura vegetal con las intensidades promedio (I_{prom}) y máximas ($I_{máx}$) de lluvia locales calculadas con datos observados a resoluciones de 10, 30 y 60 min. El bosque mostró en promedio los valores más altos de K_{fs} (132.2 ± 44.7 mm/h DE), mientras que la caña reportó los valores más bajos (11.4 ± 13.4 mm/h). La densidad aparente fue la propiedad física que más explicó la variación de la K_{fs} ($r^2 = 0.8$). Contrastando los valores de infiltración con las intensidades de lluvia, se observó que la K_{fs} en ambos cultivos estuvo muy por debajo de las $I_{máx}$ (72.2, 53 y 34.9 mm/h), pero no así para las I_{prom} (12, 6.9 y 2.8 mm/h). Por otro lado, se observó que la infiltración en el bosque estuvo muy por encima de las $I_{máx}$ (99, 69.4 y 51.2 mm/h) e I_{prom} (12, 6.9 y 2.8 mm/h). Estos resultados muestran que la plantación de caña de azúcar es la cobertura más propensa a desarrollar escurrimientos superficiales sobre el suelo y, por tanto más vulnerable a erosionarse, seguido por el cafetal bajo sombra, esto debido a fuertes alteraciones en la estructura del suelo como consecuencia de la historia de uso y manejo de la tierra.

Palabras clave: Infiltración, precipitación, cultivos, bosque de niebla, Xalapa-Coatepec.

1 INTRODUCCIÓN

El bosque de niebla, conocido en México como bosque mesófilo de montaña (Rzedowski, 1978), se localiza generalmente entre los 1100 y 2000 m s.n.m, aunque este intervalo puede variar con la latitud y exposición de las montañas, entre otros atributos del medio físico. Es uno de los ecosistemas más valorados debido a su alta capacidad de intercepción de agua de lluvia y niebla, filtración y reserva de agua en el subsuelo, permitiendo controlar la erosión de los suelos, el azolve de los ríos y deslaves así como el posible riesgo a inundaciones. Sin embargo, estos bosques presentan a nivel mundial la tasa de deforestación más alta entre los bosques de tipo tropical. Se estima que en México, más del 50% de los bosques de niebla han sido deforestados y/o convertidos a otros usos de suelo (Doumenge *et al.*, 1995).



Los suelos, por lo general de origen volcánico, donde comúnmente se desarrollan los bosques mesófilos son muy permeables debido a su alta capacidad de infiltración y de retención de agua, por lo que el escurrimiento superficial en bosques maduros y conservados, es poco frecuente (Bruijnzeel, 2004; Muñoz-Villers y McDonnell, 2013). La infiltración de agua en el suelo es un proceso sensible a varios factores entre los que destacan, la intensidad de la precipitación, la pendiente, la humedad antecedente del suelo y algunas de sus propiedades físicas (densidad aparente, porosidad total), éstas últimas ligadas con el tipo de suelo e historia de transformación y manejo del mismo (Elsenbeer *et al.*, 1992; Perkins *et al.*, 2007). De la misma forma, la conductividad hidráulica saturada de campo (K_{fs}), es una de las propiedades hidrofísicas más sensibles a los cambios de uso y manejo de la tierra (Wit, 2001; Perkins *et al.*, 2007; Zimmermann y Elsenbeer, 2008; Gómez-Tagle, 2008), utilizada como descriptor del proceso de infiltración del agua en el suelo.

Perturbaciones antrópicas tales como la conversión de bosque a pastizal afectan la hidrología del suelo a través de cambios en la estructura y propiedades del mismo. Al respecto, Zimmermann *et al.*, (2006) midieron las tasas de infiltración y la K_{fs} a dos profundidades en el suelo (12.5 y 20 cm) en un bosque primario, bosque secundario y pastizal en la cuenca del río Amazonas, Brasil, para después compararlas con las intensidades máximas de lluvia observadas en ese lugar. Sus resultados mostraron menores tasas de infiltración en el pastizal comparado con los bosques. También se observó que bajo bosque secundario y pastizal la K_{fs} estuvo por debajo de las intensidades máximas de precipitación reportadas en estos sitios.

Históricamente Veracruz ha sido el cuarto estado del país con mayor superficie de bosque mesófilo de montaña, sin embargo gran parte de este y otros tipos de bosque han sido convertidos a otros usos de suelo en las últimas décadas (Muñoz-Villers y López-Blanco, 2008). En la zona centro de Veracruz, la distribución altitudinal que caracteriza al bosque mesófilo lo divide en dos grupos: bosque mesófilo de montaña baja, presente de los 1200 a los 1800 m s.n.m., y bosque mesófilo de montaña alta, de los 1800 a los 2550 m s.n.m. (Williams-Linera *et al.*, 2013). En este respecto, Marin (2010) estudió la variación espacial de la K_{fs} en laderas de bosque mesófilo maduro, bosque mesófilo secundario y pastizal, en suelos de origen volcánico (Andosoles Úmbricos). Sus resultados mostraron valores muy bajos de K_{fs} en el pastizal (0.2 mm/hr; valor promedio), comparados con el bosque mesófilo secundario (268 mm/hr) y bosque mesófilo maduro (447 mm/hr). Concluyendo que los cambios en la cubierta vegetal y el uso de suelo conlleva a disminuciones importantes en los valores de la conductividad hidráulica en la capa superficial del suelo en la región alta de la montaña (2000 – 2500 m s.n.m.), con consecuencias en los procesos de generación de escurrimiento de agua sobre el terreno. En este sentido, existen muy pocos trabajos que hayan evaluado los impactos del cambio en el uso de suelo sobre la hidrología del suelo en el límite inferior de distribución del bosque en la región central de montaña de Veracruz.

1.1 Objetivo general

Analizar la conductividad hidráulica saturada de campo (K_{fs}) en la capa superficial del suelo (5 cm) y su relación con algunas propiedades físicas (densidad aparente) e hídricas del suelo (humedad inicial y constantes de humedad) en tres cubiertas vegetales dominantes (bosques mesófilo, cafetal bajo sombra y plantación de caña de azúcar) sobre suelo volcánico en la región central de Veracruz, México.

1.1.1 Objetivos particulares

1. Determinar la K_{fs} así como propiedades físicas (densidad aparente) e hídricas (humedad inicial, contenido de agua a capacidad de campo y punto de marchitez) del suelo en cada cobertura vegetal.
2. Determinar diferencias significativas entre la K_{fs} y las propiedades físico-hídricas entre sitios de estudio.
3. Analizar y comparar las intensidades promedio y máximas de lluvia con las tasas de infiltración del suelo obtenidas en cada cobertura vegetal.

1.2 Preguntas de investigación



1. ¿En qué medida la conversión del bosque a otros tipos de vegetación afecta la K_{fs} en la capa superficial del suelo?
2. ¿Cómo se modifica la densidad aparente y constantes de humedad en el suelo por cambio en el uso y manejo del suelo, y si estas propiedades permiten explicar la variación de K_{fs} entre sitios?
3. De acuerdo a las intensidades de lluvia y capacidades de infiltración observadas ¿Qué cubiertas vegetales son más propensas a la generación de escurrimientos superficiales?

1.3 Hipótesis

En función del uso y manejo de la tierra, la cubierta vegetal que presentará el mayor grado de perturbación será la plantación de caña de azúcar, por tanto este uso de suelo mostrará las capacidades de infiltración más bajas siendo así el sistema más propenso a generar escurrimientos de tipo superficial, seguido por la plantación de café bajo sombra comparado con el bosque.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Zona de estudio

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Coatepec, ubicado en la región centro del estado de Veracruz situado a los 19°21'32'' (latitud norte) y los 96°47'40'' (longitud oeste) (INEGI, 2012). Específicamente, la zona de estudio se localiza entre los 1200 y 1300 m s.n.m.; a 8 km. al sur de la ciudad de Xalapa.

El clima se define como templado húmedo con lluvias durante todo el año, distinguiéndose tres estaciones: la temporada seca-fría, seca-cálida y de lluvias. La precipitación media anual es de 1765 mm y la temperatura media anual es de 19.5 °C (Holwerda *et al.*, 2013).

En esta región el paisaje está compuesto por una matriz de fragmentos de bosque, campos agrícolas, potreros, cafetales y asentamientos humanos (Williams-Linera, 1993). La franja de bosque mesófilo de montaña baja (1200-1800 m.s.n.m.) se caracteriza por lomeríos con suelos volcánicos con una gran heterogeneidad topográfica y ambiental. Los tipos de suelo predominantes en la región (Andosoles) han sido producidos por procesos de vulcanismo provenientes del Cofre de Perote.

2.2 Sitios de estudio

Se seleccionaron tres cubiertas vegetales distintas y dominantes en el límite inferior de distribución del bosque mesófilo en el centro de Veracruz (Muñoz-Villers y López-Blanco, 2008), caracterizadas por estar presentes en un mismo rango altitudinal (1200 – 1300 m.s.n.m.) y por tanto, compartir condiciones climáticas similares. En los sitios de estudio, el tipo de suelo predominante es Acrisol, con textura arcillosa, con un contenido de materia orgánica del 2.4 % en superficie en un estado de descomposición ligero, proveniente de las especies dominantes (Meza y Geissert, 2007).

2.2.1 Bosque Mesófilo de Montaña

El bosque mesófilo de montaña estudiado se ubica en el *Santuario de Bosque de Niebla*, reserva perteneciente al Instituto de Ecología, A.C (INECOL), Xalapa, Veracruz. Se localiza a 1325 m s.n.m. Es un área de vegetación poco perturbada y única en la región, con una superficie de 30 ha aproximadamente. Las especies dominantes son *Quercus sartorii*, *Quercus xalapensis*, *Clethra macrophylla* y *Carpinus tropicalis* (Williams-Linera 2013). La altura promedio de los árboles que alcanzan hasta 25 m de alto. El tipo de suelo corresponde a un Vetic Acrisol Húmico (Arreola-Flores, 2016). Asimismo el Santuario es refugio de un importante número de especies de animales entre las cuales destacan anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

2.2.2 Plantación de café bajo sombra

La plantación de café con una superficie de 196 ha se localiza en la localidad La Orduña, perteneciente al municipio de Coatepec. Se encuentra situado a una altitud de 1210 m s.n.m. La plantación de café



consiste en un monocultivo bajo sombra, donde la mayor parte del bosque natural ha sido sustituido por diversas especies de árboles de sombra (Holwerda *et al.*, 2013). La plantación tiene una estructura donde se distinguen dos niveles de dosel, la altura promedio de los árboles es de 14 m y la de los cafetos es de 2.5 m. La densidad de cafetos, de especie *coffea arabica*, sembrados por hectárea es de 1,600 plantas. Los cafetos y árboles de sombra están sujetos a podas en intervalos irregulares, el manejo incluye además control de malezas y, control fitosanitario utilizando agroquímicos.

2.2.3 Plantación de caña de azúcar

La plantación de caña de azúcar se encuentra situada a un costado del cafetal. Se trata de un monocultivo de caña de azúcar con un área aproximada de 9 hectáreas. La unidad edáfica dominante en las plantaciones de café bajo sombra y caña de azúcar es Andosol de tipo ferralítico (Meza y Geissert, 2007). Durante la temporada de seca-cálida la altura que presenta la caña de azúcar es de aproximadamente 20 cm, mientras que en la temporadas de lluvias y seca-fría, la caña alcanza alturas promedio de 1-1.2 m y 1.7-2.5 m, respectivamente (Holwerda *et al.*, 2013). Prácticas de quema y labranza son realizadas una vez al año como parte de su manejo.

2.3 Muestreo de suelo

Se realizó un reconocimiento y descripción de los sitios, así también se elaboró el diseño experimental, el cual consistió en un trazar un transecto de muestreo de 30 m de longitud con dirección este-oeste, sobre terreno plano o bien con ligera pendiente (0 a 3°) en cada sitio de estudio. Posteriormente, cada transecto fue dividido en segmentos de 2 m. En cada punto (16 puntos en total por sitio), se colectó una muestra de suelo en superficie (a 5 cm) utilizando anillos de acero inoxidable de 5x5 cm y de 5x1 cm para determinar, la densidad aparente y constantes de humedad (punto de marchitez y capacidad de campo) respectivamente. Para la densidad aparente se utilizaron pruebas de secado, es decir, se llevó a secar en estufa a 110°C cada muestra durante 24 horas o hasta peso constante. Para el punto de marchitez permanente y capacidad de campo las muestras fueron saturadas y se aplicó una tensión específica mediante ollas y membranas de presión, -1500 kPa para punto de marchitez permanente y -33 kPa para capacidad de campo. Todos estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ecología, A.C. (INECOL), Xalapa, Ver.

2.4 Infiltración y cálculo de la conductividad hidráulica saturada

En cada cubierta vegetal se realizaron 16 ensayos de infiltración utilizando infiltrómetros portátiles de carga constante y anillo sencillo (IPCCAS) (Gómez-Tagle *et al.*, 2008).

Los ensayos de infiltración se realizaron en la superficie del suelo cercano a los puntos muestreados mencionados en la Sección 2.3, en el bosque mesófilo y las plantaciones de café y caña. La infiltración medida con el IPCCAS se representó gráficamente como tiempo vs. infiltración acumulada e infiltración instantánea, en dos fases (ver **Fig. 1**). La primera de ellas se denomina transitoria (sucesión de puntos con rápido cambio de pendiente), dominada por el componente capilar del suelo, y la segunda fase llamada estacionaria (línea recta) contralada por el componente gravitacional y la K_s (Elrick y Reynolds, 1992).

El método que se utilizó para determinar la K_s es el método Wu2, utiliza datos de la fase estacionaria de la curva de infiltración acumulada obtenida mediante los ensayos de infiltración. Para más detalles sobre el método, referirse al trabajo de Gómez-Tagle *et al.*, 2008.

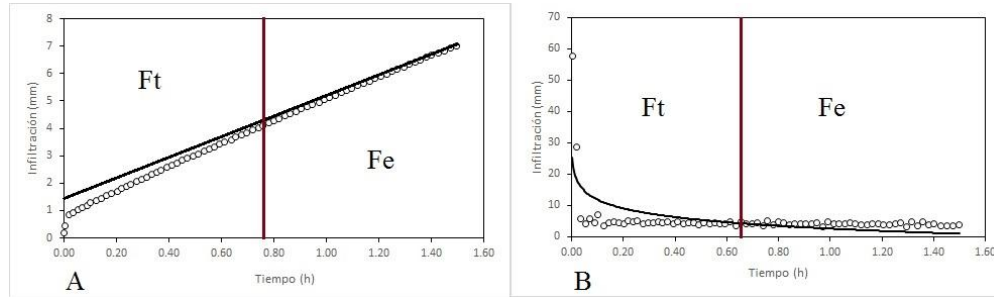


Fig. 1. (a) Gráficas de infiltración acumulada, y (b) infiltración instantánea. Se diferencian dos fases: la fase transitoria (Ft) o de humectación con flujo no estacionario y la fase estacionaria (Fe).
Fuente: Elaboración propia con base en datos de infiltración obtenidos en esta investigación.

2.5 Análisis de correlación y estadísticos

Se utilizó estadística básica para conocer la distribución de los datos de K_{fs} y de las propiedades hidrofísicas (densidad aparente, porcentaje de humedad inicial, capacidad de campo, punto de marchitez y agua aprovechable para las plantas) estudiadas por cada cobertura vegetal. Posteriormente, se exploró la correlación entre los valores de K_{fs} y las propiedades hidrofísicas mencionadas, tanto en forma conjunta como por cobertura vegetal.

También, se compararon estadísticamente los datos de la K_{fs} y de las propiedades hidrofísicas antes mencionadas entre coberturas vegetales. Para ello se realizaron pruebas en el programa SigmaPlot v.13 (Systat Software Inc). Dependiendo de la normalidad de los datos se utilizaron pruebas paramétricas (Shapiro-Wilk y varianzas iguales), o bien pruebas no paramétricas (Mann-Whitney Rank Sum). Todas las pruebas estadísticas se evaluaron a un nivel de confianza de 0.05.

2.6 Relación K_{fs} y precipitación

Utilizando un pluviómetro de balancín con resolución de 0.1 mm por golpe (TR-525M, Texas Electronics EUA), se colectaron datos de precipitación de forma continua en dos estaciones meteorológicas (INECOL y La Orduña) instaladas por investigadores del Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM, cerca o directamente en las coberturas estudiadas. El periodo de estudio abarcó de enero a diciembre de 2014.

Los datos de las dos series fueron reordenados a intervalos de 10, 30 y 60 min. La precipitación fue estudiada a nivel de eventos por lo que fue necesario determinar cada uno de ellos en ambas series. Si la precipitación registrada fue mayor o igual a 0.1 mm y de manera continua o bien si existía una interrupción de la precipitación no mayor a 3 h se consideró como un evento de precipitación. De esta manera en ambas series se calculó el número de eventos de precipitación y posteriormente se calculó la cantidad y la duración de la lluvia, así como intensidad promedio y máxima utilizando resoluciones a 10, 30 y 60 mm/h.

Finalmente, con el objetivo de analizar qué coberturas vegetales son más propensas a generar escurrimiento superficial, y consecuentemente vulnerables a erosionarse, se compararon los valores de la K_{fs} del bosque mesófilo con las intensidades promedio y máximas de la lluvia calculadas a intervalos de 10, 30 y 60 mm/h con datos colectados en el INECOL, mientras que los valores de la K_{fs} de las plantaciones de café y caña fueron comparados con las intensidades promedio y máximas calculadas con las resoluciones antes mencionadas de datos de La Orduña.

3 RESULTADOS

3.1 Propiedades hidrofísicas del suelo

El **Cuadro 1** reporta los valores promedio y desviación estándar de cada variable muestreada por cada tipo de vegetación estudiado. En este caso, el agua aprovechable para las plantas se determinó como la diferencia del contenido de humedad a capacidad de campo y apunto de marchitez permanente.

Cuadro 1. Valores de densidad aparente (D_a ; gr/cm^3), contenido de humedad inicial (H ; %), capacidad de campo y punto de marchitez permanente (CC y PMP ; %), agua aprovechable para las plantas ($AAPP$; %) y conductividad hidráulica saturada (K_{fs})

	Bosque		Café		Caña	
	No.	Prom (\pm DE)	No.	Prom (\pm DE)	No.	Prom (\pm DE)
K_{fs}	16	132.26 (± 44.77) ^A	16	16.86 (± 17.68) ^B	15	11.40 (± 13.49) ^B
H	16	66.35 (± 9.22) ^A	16	46.92 (± 5.83) ^B	15	50.78 (± 36.67) ^C
D_a	16	0.74 (± 0.09) ^A	16	0.97 (± 0.065) ^B	15	1.02 (± 0.059) ^C
CC	16	84.59 (± 22.29) ^A	16	48.88 (± 6.78) ^B	15	37.65 (± 2.23) ^C
PMP	16	72.38 (± 18.70) ^A	16	41.75 (± 6.26) ^B	15	29.76 (± 1.74) ^C
$AAPP$	16	12.21 (± 6.50) ^A	16	7.12 (± 1.82) ^B	15	7.88 (± 1.50) ^B
No: número de muestras. Prom: Promedio (\pm desviación estándar). Los súper índices A, B y C indican diferencias significativas entre coberturas vegetales						

Como se muestra la plantación de caña reportó la menor K_{fs} con un valor promedio de 11.4 mm/h, seguido por la plantación de café con un valor de 16.9 mm/h, mientras que el bosque mesófilo fue el que registró la mayor K_{fs} con un valor de 132.3 mm/h. De modo que la K_{fs} de la plantación de caña fue hasta 11 y 7 veces menor que la observada en el bosque mesófilo y plantación de café, respectivamente. Por otro lado, las plantaciones de caña y café presentaron una menor variabilidad comparado con el bosque mesófilo (44.8 mm/h). Así mismo fue el bosque el que presentó el mayor rango en la K_{fs} con valores que fueron de 73.5 a 195.4 mm/h, seguido por las plantaciones de café (1.2 – 64.9 mm/h) y caña de azúcar (0.9 – 51.2 mm/h).

El valor promedio más alto de densidad aparente fue observado en la plantación de caña, mientras que el más bajo se encontró en el bosque. El contenido de humedad inicial promedio más alto se observó en el bosque seguido por la plantación de caña y la plantación de café (46.9%). Sin embargo la plantación de caña mostró la mayor variación comparado con las otras cubiertas vegetales.

Las plantaciones de caña y de café reportaron bajos contenidos de humedad a capacidad de campo. El bosque reportó el valor promedio más alto, y una capacidad de campo muy por encima de las dos plantaciones.

En cuanto al punto de marchitez permanente, el bosque mesófilo mostró el rango más amplio (49.5 – 114.6%) de comparado con la plantación de café (34.9 – 55.6%) y caña (26.4 – 33.1%) (datos no mostrados). Como se observa en el **Cuadro 1**, el bosque fue el que obtuvo el valor promedio más alto, seguido por plantaciones de café y caña. El mayor contenido de agua aprovechable para las plantas se encontró en el bosque mesófilo, mientras que las plantaciones de caña y café mostraron valores muy similares. Lo cual demuestra que de las tres coberturas vegetales, el bosque es el que alberga el mayor contenido de agua aprovechable para las plantas.

El **Cuadro 1** muestra también los resultados de las comparaciones entre los tipos de vegetación por cada una de las variables hidrofísicas estudiadas. Al respecto, la K_{fs} mostró ser significativamente diferente entre el bosque y la plantación de café y también con el cultivo de caña de azúcar ($p = 0.001$), mientras que la K_{fs} entre la plantación de café y la de caña no reportó diferencias ($p = 0.37$). Para la densidad aparente, los tres tipos de vegetación mostraron ser distintos estadísticamente ($p \leq 0.05$). Así también, los valores de contenido de humedad inicial, capacidad de campo y punto de marchitez permanente mostraron ser diferentes entre cubiertas vegetales ($p \leq 0.05$). En el caso del agua aprovechable para las plantas, el bosque mostró ser diferente con respecto a la plantación de café y

caña ($p = 0.01$ y 0.02 respectivamente), mientras que los valores entre plantaciones no reportaron diferencias significativas ($p = 0.07$).

3.2 Relaciones entre las propiedades hidrofísicas y la conductividad hidráulica del suelo

Se evaluó la correlación entre el conjunto de datos de K_{fs} y los valores obtenidos por cada una de las propiedades hidrofísicas. Al respecto, la correlación (r^2) obtenida entre variables fue ≥ 0.4 , con excepción del contenido de humedad inicial. En la **Fig. 2(a)** se observa que la relación entre la humedad inicial y la K_{fs} fue muy baja ($r^2 = 0.1$), en contraste con la densidad aparente (**Fig. 2b**) que mostró una alta correlación ($r^2 = 0.8$). Por otro lado, se observó que la relación entre la capacidad de campo y K_{fs} (**Fig. 2c**) fue similar a la del punto de marchitez permanente y K_{fs} (**Fig. 2d**) con un valor de $r^2 = 0.7$, mientras que el agua aprovechable para las plantas y K_{fs} reportaron una correlación de $r^2 = 0.4$. De modo que el contenido de humedad inicial mostró ser la variable con la menor relación con la K_{fs} y la densidad aparente la de mayor correlación, por lo tanto esta última propiedad del suelo explica en gran medida el flujo de agua a través de sus poros en condiciones de saturación.

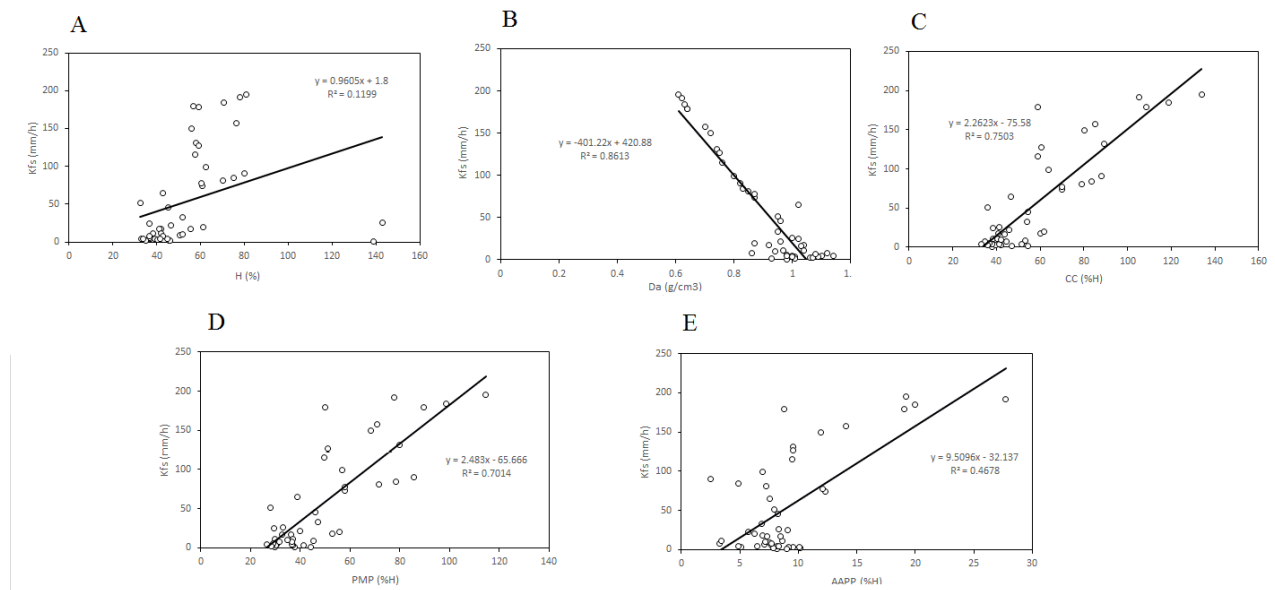


Fig. 2. (a) Correlación entre el contenido de humedad inicial y K_{fs} , (b) densidad aparente y K_{fs} , (c) capacidad de campo y K_{fs} , (d) punto de marchitez permanente y K_{fs} , y (e) agua aprovechable para las plantas y K_{fs} .

3.3 Precipitación vs. K_{fs} en las coberturas vegetales estudiadas

La plantación de caña mostró que las intensidades máximas de lluvia a intervalos de 10, 30 y 60 min (I_{max10} , I_{max30} e I_{max60}) están muy por arriba de sus valores de la conductividad hidráulica saturada (**Fig. 3**). Las intensidades promedio a 10 y 30 min (I_{prom10} y I_{prom30}) fueron las que se encontraron en el rango de los valores de la K_{fs} , mientras que a intensidades promedio a 60 min (I_{prom60}) se hallaron por debajo de este rango. Por tanto, son las precipitaciones a intensidades promedio las que el suelo de la plantación de caña podría infiltrar. En cuanto a la plantación de café, las intensidades máximas a intervalos de 10, 30 y 60 min se localizaron por encima de sus valores de K_{fs} , esto indica que el suelo de esta cobertura vegetal en condiciones de saturación no podría infiltrar la lluvia a estas intensidades. Por otro lado, las intensidades promedio a 10 y 30 min se ubicaron sobre el rango en donde la K_{fs} no se ve impedida, mientras que la intensidad promedio a 60 min fue la única que se observó por debajo de los valores de la K_{fs} . Por tanto, la lluvia a las intensidades promedio podría ser infiltrada en el suelo en

la plantación de café. En el bosque, las intensidades promedio a 10, 30 y 60 min se ubicaron muy debajo de los valores de la K_{fs} ; lo mismo se observó para las intensidades máximas a 30 y 60 min. Sólo la intensidad máxima a 10 min se ubicó en el rango de los valores de la K_{fs} (**Fig. 3**). En este sentido el bosque muestra gran capacidad de infiltrar eventos de lluvia a las intensidades máximas y promedio observadas.

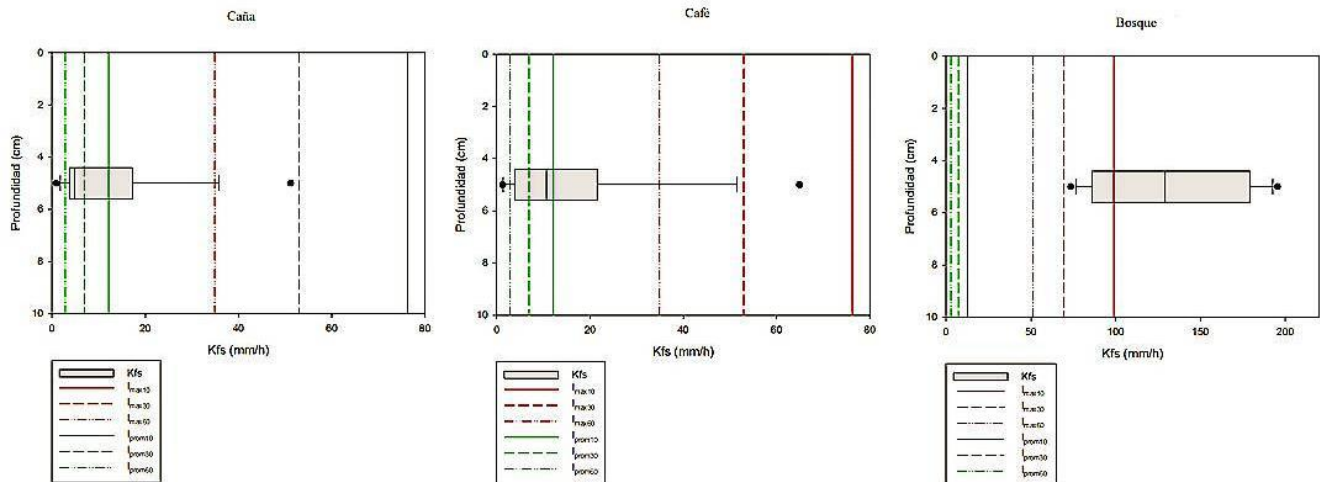


Fig. 3. Intensidades máximas y promedio sobre la K_{fs} en los sitios de estudio.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

4.1.1 Impactos del cambio en el uso de suelo sobre la conductividad hidráulica saturada

La importancia de los bosques radica en los servicios ambientales que brinda a la sociedad. Específicamente el bosque mesófilo de montaña tiene un papel importante en la regulación de los flujos hidrológicos, como consecuencia de su gran capacidad de infiltración y retención de agua en el suelo, lo cual a su vez determina la dinámica del agua a nivel superficial y subterránea (Williams-Linera, 2007; Tobón *et al.*, 2001; Tobón *et al.*, 2010; González-Barrios *et al.*, 2011).

En el presente trabajo se encontró que la conductividad hidráulica saturada en las plantaciones de café bajo sombra y caña en la capa superficial del suelo fueron significativamente más bajas comparadas con las del bosque mesófilo. Por otra parte, se encontró que los valores de la conductividad hidráulica saturada entre plantaciones no fueron distintos, a pesar de sus diferencias en el tipo de vegetación, uso y manejo del suelo.

En esta región, específicamente en el límite superior de distribución del bosque mesófilo, el trabajo de Marín-Castro (2010) mostró también altos valores de conductividad hidráulica en bosques, y comparado con su estudio en pastizales, los valores encontrados en la plantación de caña de azúcar fueron similares.

Estudios en otras regiones han reportado que la disminución de la conductividad hidráulica saturada en la capa superficial del suelo está influenciada fuertemente por el cambio en el uso de suelo, y que éste efecto disminuye con el aumento en profundidad del suelo. En este sentido, Bonell *et al.* (2010) estudió la conductividad hidráulica en un bosque natural, un bosque perturbado y en tres plantaciones (*Acacia ariculiformes*, *Tectona grandis* y *Casuarina equisetifolia*) a cuatro diferentes profundidades (0, 10, 60, 150 cm) en la región de los Ghats orientales de la India. Su investigación mostró una disminución considerable de la conductividad hidráulica a nivel superficie en las tres plantaciones seguida por el bosque perturbado comparado con el bosque natural. Asimismo las diferencias más significativas se observaron en los primeros 10 cm. En el estudio de Bonell y colegas (2010), la disminución de la



conductividad hidráulica es atribuida a la intensidad de uso y transformación de los bosques, y a los efectos de las monoplantaciones sobre la ecología del suelo.

Un punto importante de resaltar es que la gran mayoría de la literatura disponible en estos temas, reporta comparaciones entre bosques y pastizales, o bien entre bosques y plantaciones forestales, siendo muy escasos los estudios que han evaluado los impactos hidrológicos en el suelo asociados a la conversión de bosques por plantaciones de café a sombra o caña de azúcar.

4.1.2 Alteración de las propiedades hidrofísicas a causa del cambio y manejo del suelo

Se encontró una relación entre el aumento de la densidad aparente en el suelo y la disminución de la capacidad de infiltración, y en consecuencia en la conductividad hidráulica, lo que explicaría en parte los valores muy bajos obtenidos de conductividad hidráulica en las plantaciones de caña y café, y valores muy altos en el bosque. La densidad aparente mostró ser significativamente diferente entre coberturas vegetales, y también demostró ser la variable que mejor explica el comportamiento de la conductividad saturada. Al respecto, el estudio de Tobón *et al.* (2010) en suelos de origen volcánico (Hapludands e Hydrudands) al norte de Costa Rica, reportó también densidades aparentes bajas ($0.4 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$; promedio \pm desviación estándar) y conductividades hidráulicas altas ($714 \pm 0.1 \text{ mm/h}$) en la capa superficial del suelo en un bosque de niebla, comparado con un pastizal ($0.6 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ y $32 \pm 0.1 \text{ mm/h}$, respectivamente).

En cuanto a las constantes de humedad, se encontró que el bosque mesófilo fue la cobertura vegetal que reportó los contenidos de humedad a capacidad de campo más altos comparado con las plantaciones de café y caña. Esto indica que el bosque puede retener la mayor cantidad de agua en el suelo después del drenaje por efectos de gravedad. Por otra parte, la plantación de caña seguida por el café reportaron los valores promedio más bajos de humedad al punto de marchitez permanente comparado con el bosque. Lo que muestra que hay menos agua en el suelo a altas tensiones en estas plantaciones. Consecuentemente, existe una mayor humedad en el suelo aprovechable para las plantas en el bosque comparado con las otras coberturas vegetales.

Al respecto, el trabajo de Tobon *et al.* (2010) mostró también mayores contenidos de agua disponible para las plantas en el bosque comparados con un pastizal. Sin embargo su estudio reportó un valor de humedad a punto de marchitez ligeramente mayor en el pastizal con respecto al bosque, lo que en el presente estudio no se observó. Tobón y demás autores (2010) atribuyeron estas diferencias de humedad en el suelo a cambios en las distribuciones de tamaño de los poros, en particular, una disminución en el número de macroporos y su sustitución por meso y microporos, en asociación con cambios en la densidad aparente como se mencionó anteriormente debido a la conversión del bosque de niebla por pastizales. Aunque en la presente investigación no se estudió la porosidad total y la distribución del tamaño de los poros, los resultados obtenidos sugieren mayor porosidad en el bosque mesófilo lo que a su vez podría sugerir mayor presencia de macroporos, mesoporos y microporos, es decir mayor estructura, en la capa superficial del suelo comparado con los otros tipos de vegetación estudiados.

4.1.3 Intensidad de precipitación vs conductividad hidráulica del suelo: infiriendo flujos durante eventos de lluvia

Las plantaciones de café y caña mostraron valores de conductividad hidráulica saturada muy por debajo de las intensidades máximas registradas a intervalos de 10, 30 y 60 min, mientras que las intensidades promedio a 10 y 30 min se compararon similares a los rangos de las conductividades hidráulicas obtenidas. Por lo que para estos usos de suelo, solo las intensidades promedio a 60 min se encontraron por debajo de los valores de la conductividad hidráulica a saturación (**Fig. 3**). Por otro lado, el bosque mesófilo mostró conductividades hidráulicas en el suelo que estuvieron por encima de las intensidades máximas de lluvia calculadas a 30 y 60 min y las promedio a 10, 30 y 60 min; mientras que la intensidad máxima a 10 min se ubicó dentro del rango observado de valores de conductividad hidráulica. En este sentido se puede afirmar que de las tres cubiertas vegetales estudiadas, el bosque mesófilo es el que puede infiltrar y amortiguar las precipitaciones en un amplio



rango de intensidades tanto máximas como promedio (**Fig. 3**). Por el contrario, las plantaciones de café y caña presentan problemas para infiltrar lluvias de alta y moderada intensidad, por tanto estas cubiertas vegetales mostraron ser las más propensas a generar escurrimientos superficiales durante eventos de precipitación.

Al respecto, Karlsen (2010) contrastó la conductividad hidráulica saturada del suelo (Andosol) de un bosque mesófilo de montaña maduro en el centro de Veracruz, México, con las intensidades máximas y promedio en intervalos de 10, 30 y 60 min observadas en este sitio. Sus resultados mostraron que para el primer horizonte, la conductividad hidráulica del suelo (1345 ± 872 mm/h; promedio \pm desviación estándar) fue mayor a las intensidades de lluvia mencionados, sin embargo con el aumento en profundidad del suelo la conductividad hidráulica se reduce (26 ± 22 mm/h y 7.2 ± 8.1 mm/h) por lo que es muy probable el desarrollo de flujo lateral a profundidades mayores a los 40 cm. En este estudio no se realizaron ensayos de infiltración a diferentes profundidades en los sitios estudiados, sin embargo podría ser interesante por lo que será un tema de investigación a futuro.

4.2 Conclusiones

La conversión del bosque mesófilo montaña a plantaciones de café bajo sombra y caña de azúcar en el límite inferior de distribución del bosque en la región central de montaña de Veracruz, reduce fuertemente la capacidad de infiltración de agua en la capa superficial del suelo, evaluado a través de la conductividad hidráulica saturada de campo.

También, se observaron aumentos en la densidad aparente y reducciones en los contenidos de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez en los suelos de las plantaciones de caña de azúcar y café comparado con los del bosque. Estos cambios en las propiedades físicas e hídricas del suelo están asociados a la conversión del bosque por monocultivos cuyas prácticas de labranza y manejo repercuten fuertemente en la estructura del suelo.

Al compararse los valores de conductividad hidráulica con las intensidades de lluvia registradas en los sitios de estudio, se observó que la plantación de caña de azúcar fue la cobertura más propensa a generar escurrimientos superficiales, y por tanto más vulnerable a erosionarse. En contraste, el bosque mostró gran potencial de infiltrar y amortiguar lluvias de moderada y alta intensidad, particularmente observadas durante la época de lluvias.

5 AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto de Ecología, A.C. (INECOL), Xalapa, Ver y a los propietarios de “La Orduña” por los permisos otorgados para llevar a cabo esta investigación en el Santuario de Bosque de Niebla y en las plantaciones de café y caña, respectivamente. También agradecemos al Laboratorio de Suelos del INECOL por el apoyo en el análisis de las muestras de suelo. Esta investigación fue parcialmente financiada con fondos del proyecto PAPIIT (IB100313-RR160313), a cargo de la Dra. Lyssette Muñoz.

6 LITERATURA CITADA

- Arreola-Flores, D.P. 2016. Análisis de la dinámica del agua en un suelo de bosque de niebla de montaña baja en el centro de Veracruz. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias. INECOL, Xalapa, Ver., 66 p.
- Bruijnzeel, L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 104, 186-189 pp.
- Bonell, M., Purandara, B.K., Venkatesh, B., Krishnaswamy, J., Acharya, H. A. K., Singh, U. V., Jayakumar, R., Chappell, N. 2010. The impact of forest use and reforestation on soil hydraulic conductivity in the Western Ghats of India: Implications for surface and sub-surface hydrology. *Journal of Hydrology*, 391, 48-55 pp.



- Doumenge, C., Gilmour, D., Ruíz, M.P. y Blockhus, J. 1995. Tropical montane cloud forests: conservation status and management issues. pp. 24-37. In: L. S. Hamilton, J.O Juvik y F.N., Scatena, eds. Tropical Montane Cloud Forests. Springer-Verlag, Nueva York, 407 pp.
- Elsenbeer H., Cassel, K. y Castro, J. 1992. Spatial analysis of soil hydraulic conductivity in a tropical rain forest catchment. Water Resources Research. 28, 3202-3206 pp.
- Elrick, D. E., y Reynolds, W. D. 1992. Infiltration from Constant-Head Well Permeameters and Infiltrimeters. Topp, W. D. Reynolds, and R. E. Green, editors. Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice. Soil Science Society of America, Inc. 1-24 pp.
- Gómez-Tagle, Ch. A., Gómez-Tagle, R. F. A., Battle-Salles, J., Zepeda, C. H., Guevara Santamaría, A. G., Maldonado, L. S y Pintor, A. J. 2008. Conductividad hidráulica saturada de campo: uso de un infiltrómetro de carga constante y anillo sencillo. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. México. Terra Latinoamericana, 26, 287-297 pp.
- González-Barrios, J. L., Jean-Pierre, V., Luc Descroix, Sánchez-Cohen, I., Chávez-Ramírez, E. y González Cervantes, G. 2011. Impacto del cambio de uso del suelo en la hidrodinámica superficial de una cuenca receptora de agua. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID RASPA), 8, 105-110 pp.
- Holwerda F., Bruijnzeel, L.A., Barradas, V.L., Cervantes, J. 2013. The water and energy exchange of a shaded coffee plantation in the lower montane cloud forest zone of central Veracruz, Mexico. Agricultural and Forest Meteorology, 173, 1-9 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2012. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Coatepec, Veracruz. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>
- Karlsen, H. R. 2010. Stormflow Processes in a Mature Tropical Montane Cloud Forest Catchment, Coatepec, Veracruz, Mexico. Tesis de Maestría. Posgrado en Ecohidrología. Universidad de Amsterdam, 33-38 pp.
- Marin-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. Posgrado en Ciencias. INECOL, Xalapa, Ver., 14-35 pp.
- Meza, E. y 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 N°. INE/A1-064/2007. Instituto Nacional de Ecología / Vrije Universiteit Amsterdam/Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, 118-130 pp.
- Muñoz-Villers, L. E. y López-Blanco, J. 2008. Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. International Journal of Remote Sensing. 29, 71-93 pp.
- Muñoz-Villers L.E. y McDonnell, J. J. 2013. Land use change effects on runoff generation in a humid tropical montane cloud forest region. Hydrology and Earth System Sciences, 17, 3543-3552 pp.
- Perkins, D. B., Haws, N. W., Jawitz, J. W., Das, B. S., y Rao, P. S. C. 2007 Soil hydraulic properties as ecological indicators in forested watersheds impacted by mechanized military training, Ecological Indicators, 7, 589-597 pp.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa, México, 432 pp.
- Tobón C., Bruijnzeel, L.A. y Frumau, F.A. y Calvo-Alvarado, J.C. 2010. Changes in soil physical properties after conversión of tropical montane cloud forest to pasture in northern Costa Rica. Tropical Montane Cloud Forest: Since for Conservation and Management. Cambridge University Press, 52, 502-513 pp.
- Williams-Linera, G. 1993. Ecología del paisaje y el bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz. Ciencia y Desarrollo XVIII, 105, 132- 138 pp.



- Williams-Linera, G. 2007. El Bosque de niebla del centro de Veracruz: Ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. INECOL–CONABIO, Xalapa, Ver.
- Williams-Linera, G., Toledo-Garibaldi M. y Gallardo H. C. 2013. How heterogeneous are the cloud forest communities in the mountains of central Veracruz, Mexico? *Plant. Ecol*, 214, 685–701 pp.
- Wit, A.M.W., 2001. Runoff controlling factors in various sized catchments in a semi-arid Mediterranean environment in Spain. Ph. D. Thesis Thesis, Universiteit Utrecht, Utrecht, The Netherlands, 229 pp.
- Zimmermann, B., Elsenbeer, H y De Moraes, J.M. 2006. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: implications for runoff generation. *Forest Ecol. Manage*, 222, 29-38.
- 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 pp.



Extenso ID: 78 Eréndira A. Arellano-Leyva^a, Lyssette E. Muñoz-Villers^b ESCURRIMIENTO PLUVIAL DE UNA AZOTEA VEGETADA VERSUS UNA AZOTEA COMÚN, CIUDAD DE MÉXICO.

^a Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México, email: erendira.arellano@atmosfera.unam.mx

^b Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México, email: lyssette.munoz@atmosfera.unam.mx

[Regresar al índice](#)

RESUMEN

El cambio de uso de suelo y la pérdida de vegetación como consecuencia de la expansión de la mancha urbana, afecta significativamente el ciclo hidrológico. En este sentido, la naturación en azoteas puede ofrecer varios servicios ecosistémicos, entre los más importantes, el de adicionar permeabilidad a superficies para amortiguar, retener y retardar el escurrimiento pluvial en ambientes urbanos. Este trabajo tuvo como objetivo cuantificar el efecto de una azotea verde extensiva (AVE) y una azotea común (AC) en la Ciudad de México, comparando los volúmenes y tiempos de retraso de sus escurrimientos durante la temporada de lluvias de 2014 (junio-octubre). Para ello, se muestreó continuamente la precipitación (P), contenido de agua en suelo y el escurrimiento pluvial (Q) utilizando pluviómetros, sensores de humedad y un sistema de almacenamiento con capacidad de 1100 L equipado con limnógrafos. En total, se evaluaron 63 eventos de precipitación-escurrimiento de 1-27 mm. Los resultados mostraron un coeficiente de escurrimiento promedio (Q/P) en la AC de más del doble (0.9 ± 0.2 DE) que en la AVE (0.4 ± 0.4). Para esta última, la humedad en el suelo varió entre el 12 y el 43 %. La AC respondió casi de inmediato al inicio de la lluvia (10-20 min en promedio), mientras que la AVE mostró un retraso promedio de 146 min. Concluido el evento, el tiempo de liberación del escurrimiento fue mucho más largo en la AVE (2 hrs 22 min) comparado con la AC (36 min). A tamaños de lluvia pequeños (<10 mm) y relativamente grandes (>20 mm), los Q/P en la AC fueron, respectivamente, de 0.7 ± 0.2 y 1.1 ± 0.1 ; mientras que en la AVE fueron bastante menores (0.2 ± 0.3 y 0.6 ± 0.4). A antecedentes de precipitación bajos (<35 mm) o altos (>65 mm), los Q/P en la AC fueron muy similares (0.9 ± 0.2 y 0.9 ± 0.2). Por el contrario, en la AVE fueron significativamente menores y mucho más variables (0.3 ± 0.4 y 0.7 ± 0.1). Estos resultados muestran que la naturación de azoteas puede amortiguar fuertemente los escurrimientos pluviales e impactos por inundaciones; promover esta estrategia en ciudades es importante para la gestión sustentable de sus recursos hídricos en un contexto de cambio climático.

Palabras clave: Azotea verde, precipitación, retención, ciclo hidrológico, Jardín Botánico-UNAM

1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional ha tenido gran incidencia en zonas urbanizadas a nivel mundial de tal manera que en las próximas décadas se prevé siga en aumento (ONU, 2015). Estudios han indicado que en ciertas áreas el calentamiento global puede causar un incremento en la frecuencia de las precipitaciones intensas (Bates *et al.*, 2008) que aunado al reemplazo de la cubierta vegetal natural por superficies impermeables en las ciudades, aumentarán las inundaciones. Entre las estrategias sustentables para mitigar parcialmente los problemas ambientales se encuentra la naturación en azoteas



o azoteas verdes (green roof, en inglés). Un techo verde es un sistema en capas que comprende una membrana impermeabilizante, capa anti-raíz, de drenaje, sustrato y vegetación (Castleton *et al.*, 2010). Los beneficios ambientales que aporta un techo verde derivan de su funcionamiento como ecosistema (Oberndorfer *et al.*, 2007). En algunos países los servicios ecosistémicos de las azoteas vegetadas ya han resultado en incentivos por parte del gobierno para fomentar e incluso legislar el desarrollo de estos sistemas.

Generalmente se distinguen dos tipos de techos verdes, *extensivo* e *intensivo*. Los intensivos presentan una capa de sustrato profunda para soportar el tipo de vegetación arbustiva y arbórea de alto tamaño, por lo tanto este diseño demanda mantenimiento, típicamente deshierbe, fertilización y riego. En contraparte en el extensivo se establece una capa delgada de sustrato, el tipo de vegetación es herbácea, musgo, y arbustiva de bajo tamaño y con raíces extendidas pero poco profundas, adaptada a las condiciones ambientales y climáticas del sitio, por lo tanto su mantenimiento es mínimo (Czemiel *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2014; Villareal *et al.*, 2005).

El estudio de Ernst y Weigerding (1985) en Alemania, reportó por vez primera la capacidad de las azoteas verdes en retener agua de lluvia, y fue a partir de este trabajo que científicos en Europa comenzaron a investigar las relaciones entre la precipitación, las propiedades del techo verde y su escurrimiento (Mentens, *et al.*, 2006). Al respecto, Mentens y colaboradores (2006) hicieron una revisión de 18 artículos (1987-2003), en los cuales reportan que la capacidad de retención de precipitación anual de una azotea verde extensiva es de 45% para un edificio; mientras que Köhler y colaboradores (2002) estimaron la reducción anual del escurrimiento total por edificio entre un 60% y un 79% en Alemania. El modelo de escurrimiento de Jarret y colaboradores (2006) en una azotea verde utilizando datos de lluvia de 28 años, reveló una retención del 45 al 55% del volumen de precipitación anual (Hiltén, 2008). En general, varios estudios coinciden que las azoteas verdes además de reducir los escurrimientos, pueden retrasar sus picos comparadas con una azotea convencional. En este sentido, Carter y Rasmussen (2006) reportaron un retraso de hasta 10 min para el 57% de los picos de escurrimiento observados en un techo vegetado. A su vez, estos resultados concuerdan con los reportados por VanWoert *et al.* (2005) y Simmons *et al.* (2008), todos en Estados Unidos de América.

Por otra parte, se ha demostrado también que el amortiguamiento del escurrimiento pluvial en azoteas naturadas depende fuertemente de la intensidad de la lluvia (Bengtsson *et al.*, 2005; Carter y Rasmussen, 2006; DeNardo *et al.*, 2005; Hiltén *et al.*, 2008; Moran *et al.*, 2005; Simmons *et al.*, 2008; Teemusk y Mander, 2007), la profundidad y propiedades del sustrato (Monterusso *et al.*, 2004; VanWoert *et al.*, 2005), la pendiente del techo (Metselaar *et al.*, 2012) y el tipo de vegetación (Dunnett *et al.*, 2008; Lundholm, 2006).

Los estudios sobre azoteas naturadas en México aún son escasos. A partir de 2008-2009 se inició la investigación sobre las azoteas verde en México, en temas como flujo de calor al interior de la edificación (Carbajal, 2009); supervivencia, crecimiento y captura de carbono en plantas del género *Sedum* (Monroy, 2012); retención de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH, por sus siglas en inglés) y metales pesados de la lluvia (Arellano-Leyva, 2012); selección de plantas en términos de la eficiencia térmica (Tovar *et al.*, 2014) y la influencia de la profundidad del sustrato en el crecimiento de especies de crasuláceas (Acosta, 2016). La Ciudad de México se encuentra entre una de las mayores aglomeraciones urbanas del mundo (ONU, 2015). La capital es la entidad más pequeña, ocupando 0.1% del territorio nacional y una población de 9.4 millones. De acuerdo a los estándares internacionales establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) una ciudad debe tener como mínimo 9.2 m² de área verde por habitante. La Cd. de México cuenta con una superficie de 5.3



m^2 de área verde urbana por habitante (SMA, 2006), lo cual es bastante variable entre las 16 delegaciones políticas que la conforman.

Para la Ciudad de México, la naturación en azoteas puede ser una atractiva estrategia para adicionar permeabilidad y áreas verdes que brinden servicios ambientales en las zonas urbanas, donde los techos cubren una elevada fracción de las superficies impermeables. Sin embargo, son escasos los estudios que han cuantificado la relación precipitación-escorrentía. Por tanto, el objetivo principal de este trabajo fue comparar una azotea común y una verde extensiva para evaluar la retención, reducción y atenuación del escurrimiento generado por lluvias.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción de los sitios de estudio

El estudio se realizó en la azotea verde extensiva (AVE) y azotea común (AC) ubicadas en el Área de Colecciones del Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual forma parte de las áreas de amortiguamiento de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA).

La REPSA, se ubica al suroeste de la Ciudad de México entre las coordenadas $19^{\circ}18'21''$ - $19^{\circ}20'11''$ Norte y $99^{\circ}10'15''$ - $99^{\circ}12'4''$ Oeste, en un intervalo altitudinal de 2254 a 2349 m.s.n.m. Se encuentra sobre una zona de roca basáltica producto de la erupción del Xitle. El tipo de clima en la región es templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano [Cb(w1)(w)], de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1987). La temperatura y precipitación promedio anual es de 15.6°C y 833 mm, respectivamente; el 80% de la precipitación se observa durante la época de lluvias (junio-octubre) (Valiente-Banuet y De Luna, 1990). El matorral xerófilo de alta elevación es la vegetación característica (Rzedowski, 1954), muchas plantas que crecen en esta zona presentan claras adaptaciones fisiológicas y morfológicas afines a las de los ecosistemas de zonas áridas.

La AVE, tiene una pendiente de 2% y profundidad de 10 cm de sustrato. La AVE requiere mínimo mantenimiento por lo tanto no tiene un sistema de irrigación. Las especies plantadas y dominantes en esta azotea, con una altura promedio de 90 cm, son crasuláceas, cactáceas y agaváceas: *Sedum dendroideum*, *Sedum moranense*, *Sedum rubrotinctum*, *Sedum acre*, *Sedum griseum*, *Altamiranoa mexicana*, *Echeveria gigiflora*, *Opuntia robusta*, *Opuntia tomentosa*, *Mammillaria magnimamma*, *Agave celsii* y *Agave sp.* Estas especies son nativas de la REPSA, por lo tanto comparten características similares a la vegetación xerófila, entre ellas, el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM proveniente del inglés *Crassulacean Acid Metabolism*). El total del área de la AVE es de 208 m^2 , que se divide en 3 secciones. En este caso, la sección de 32 m^2 de la azotea fue la que se utilizó para el monitoreo de precipitación, escorrentía y contenido de humedad en suelo.

La AC, está situada a 1.50 m de distancia de la AVE. Esta azotea fue seleccionada por su proximidad a la AVE y su similar elevación e inclinación. Tiene un área de 37 m^2 y está dividida en 2 secciones. El área de 19.27 m^2 fue el que se utilizó para el monitoreo del escurrimiento por lluvia.

2.2. Instrumentación y medición de variables

La precipitación fue registrada de forma continua utilizando un pluviómetro de balancín marca HOB0 (Onset, EUA; resolución de 0.2 mm), colocado en la AVE a una altura de 1.30 m del suelo. El periodo de medición abarcó del 26 de junio al 25 de octubre del 2014. Para conocer los contenidos volumétricos de agua en el suelo en la AVE, se colocaron de forma horizontal sensores basados en métodos de capacitancia tipo 10 HS (Decagon, EUA), a una profundidad de 5 cm. Para ello, la AVE se dividió en dos secciones de acuerdo a su cobertura vegetal. El lado A con menor cobertura y

dominancia de cactáceas mientras que el lado B con mayor cobertura y dominancia de Agave; la presencia de especies Sedum fue similar en ambos segmentos. En cada sección se colocaron 5 sensores distribuidos formando una “X”. El registro de la humedad en suelo se llevó a cabo cada 5 min utilizando un registrador Em50 marca Decagon, EUA. Para cuantificar el escurrimiento generado por lluvia, en cada azotea estudiada se instaló un sistema de tuberías con tanques almacenadores de agua Rotomex con capacidad de 1100 L, equipados con un limnígrafo modelo 3001 (Solinst, Canadá Ltd.) con una precisión de 0.05% m. Para compensar las lecturas de presión del limnígrafo se utilizó un barómetro modelo 3001 (Solinst, Canadá Ltd.) con precisión de 0.05% kPa, colocado en la AVE. Ambos instrumentos fueron programados para registrar lecturas a intervalos de 1 min. Como una medida independiente a la de los instrumentos, se tomaron lecturas de la altura del agua en los tanques con una cinta métrica que se colocó en la parte exterior de los mismos. Dependiendo de la frecuencia de los eventos de lluvia, se realizaban visitas diarias entre semana y también en el fin de semana, siendo así también la descarga de los tanques.

2.3 Análisis de datos

Los datos de precipitación fueron remuestreados a periodos de 5 min, y a partir de esta resolución se identificó el número de eventos ocurridos durante el periodo de estudio. Para ello, un evento de precipitación fue definido como aquel mayor a 1 mm. Basado en el criterio de separación de eventos de precipitación propuesto por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica en 2007 (NOAA, por sus siglas en inglés), los eventos de precipitación con un periodo de ≥ 6 hr sin lluvia fueron clasificados como eventos independientes. Por cada evento de precipitación identificado, se calculó la precipitación total (mm), tiempo de duración (minutos), intensidad máxima e intensidad promedio (mm/hr), y el antecedente de precipitación (AP). El AP fue calculado de acuerdo al método de Viessman y colaboradores (1989) para determinar las condiciones de humedad antecedentes 7 días previos a cada tormenta.

Los datos de presión del limnígrafo y barómetro fueron también remuestreados a periodos de 5 min, con la finalidad de tener la misma resolución de datos que la lluvia. El cálculo de escurrimiento (Q) se hizo primero realizando la compensación de las fluctuaciones de presión barométrica y los datos colectados por el limnígrafo para obtener la altura real de las mediciones de la columna de agua. Posteriormente, se hizo la conversión de la columna de agua a centímetros y los diagramas de correlación con las lecturas de las cintas métricas colocadas en los tanques, como una medida independiente de los equipos automáticos instalados. Los datos de columna de agua se corrigieron con la ecuación correspondiente, como se muestra en la Fig. 1.

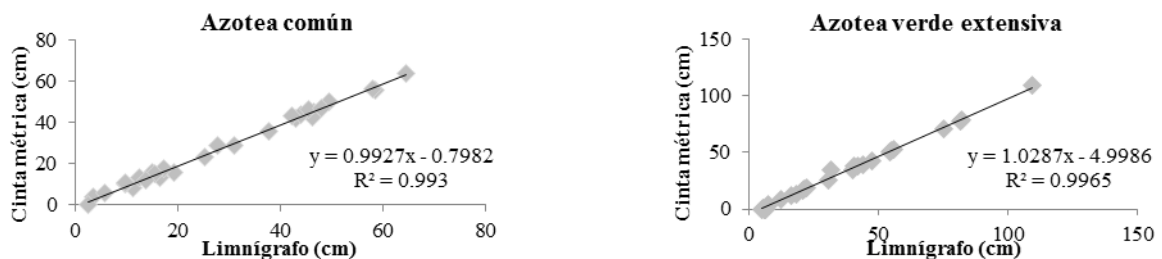


Fig. 1. Registro limnógrafo y cinta métrica del tanque en ambas azoteas.

Posteriormente se transformaron los valores de la columna de agua a litros utilizando la ecuación derivada de la calibración del tanque de 1100 L, y finalmente se realizó la conversión de litros a milímetros utilizando el área total de cada azotea, común (19.27 m²) y azotea verde extensiva (32 m²).

Para el análisis de precipitación-escorrimento se seleccionaron los casos con base en los siguientes criterios: 1) Eventos de lluvia y escurrimiento completos, es decir sin interrupciones o con la ausencia de datos, ya sea lluvia o escurrimiento, y 2) No se tomaron en cuenta aquellos eventos donde el volumen de escurrimiento por las azoteas superó el 90 % o más la capacidad de medición del tanque. Una vez seleccionados los eventos precipitación-escorrimento a analizar, se calculó el retraso en minutos del escurrimiento ($TR\ Q$) con respecto a la precipitación, que se refiere al tiempo que tarda en iniciar el escurrimiento de las azoteas estudiadas una vez que comienza un evento de lluvia; la duración del escurrimiento ($TD\ Q$) se determinó realizando una gráfica de Q por cada evento de precipitación, de este modo se observó claramente el comportamiento de la variable y se cuantificó la duración en minutos del comienzo del escurrimiento al valor máximo y constante. Se calculó el coeficiente de escurrimiento pluvial a partir de la relación entre el escurrimiento y la precipitación total (Pt) para cada evento de lluvia (Chow *et al.*, 1994).

Después del periodo de estudio, los datos de humedad de suelo (HS) de la AVE obtenidos a 5 min fueron calibrados utilizando la función de calibración dieléctrica de acuerdo a lo establecido en el Manual del sensor 10HS. Posteriormente se hicieron los siguientes cálculos por evento de precipitación y por parcela (A y B) con los valores de los 5 sensores que se tenían por cada una: promedio de HS al inicio del evento de lluvia en m^3/m^3 (HS_i); el valor máximo promedio de HS en respuesta al primer pico de precipitación (m^3/m^3) ($HS_{max}P_i$) y el tiempo de respuesta de la HS al inicio de la lluvia ($TRHS_i$) en minutos.

Posteriormente, se realizaron comparaciones estadísticas mediante pruebas ANOVA entre la precipitación, el escurrimiento y el contenido de humedad en suelo en ambas azoteas, para evaluar diferencias significativas. Además se hicieron pruebas de correlación de Pearson entre las variables antes mencionadas. Los análisis se llevaron a cabo en el software estadístico SigmaPlot.

3 RESULTADOS

Durante el periodo de estudio (26 de junio al 25 de octubre de 2014), la precipitación total registrada fue de 513.4 mm, equivalente al 48% de la precipitación anual registrada (Junio 2014 a Mayo 2015). En total, 63 eventos de precipitación-escorrimento fueron analizados con base en los criterios descritos en la sección 2.2.3. La descripción estadística general se encuentra en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Características generales de la precipitación en el periodo de estudio (26 de junio al 25 de octubre de 2014) del Jardín Botánico, UNAM ($n=63$).

Variable	Mínimo	Media	Máximo	Desviación Estándar
P total (mm)	1	8.15	27	6.20
Duración (hrs)	0.25	5.16	18.45	4.15
Intensidad máx (mm/hr)	0.6	5.08	16.6	3.81
Intensidad prom (mm/hr)	0.2	1.63	6.1	1.31
Antecedente de precipitación (mm)	5	35.9	91.2	20.67

En términos del escurrimiento generado por evento de lluvia (Q) para la AC y la AVE ($n=63$), los valores promedio fueron 8.53 ± 7.23 (DE) mm y 4.52 ± 5.78 (DE) mm, respectivamente, comparándose significativamente diferente entre ellas ($p < 0.05$). La precipitación y el escurrimiento en la AC presentó una fuerte relación lineal ($R^2=0.987$), mientras que en la AVE la correlación fue menos clara ($R^2= 0.672$) (**Fig. 2a**). De los 63 eventos analizados, la AC registró escurrimiento para

todos ellos; mientras que la AVE no registró escurrimientos en 22 eventos. En cuanto al coeficiente de escurrimiento (Q/P), en la AC el valor promedio del Q/P obtenido fue de 0.96 ± 0.18 (DE), lo que indica una casi nula retención de agua de lluvia (4%). Por otro lado, la AVE presentó un Q/P de 0.38 ± 0.38 equivalente a una retención del 61%. Al compararse estos resultados se encontraron diferencias significativas entre azoteas ($p < 0.001$). Se observa que hubo eventos donde Q/P fue ≥ 1 en las azoteas (32 y 4 eventos para la AC y AVE, respectivamente) (Fig. 2b).

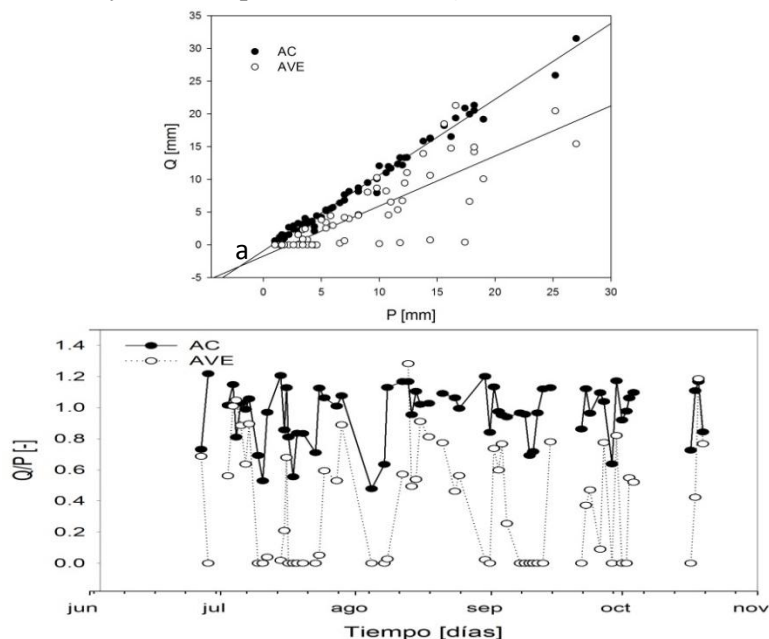


Fig. 2. (a) Relación del escurrimiento con los 63 eventos de lluvia en la azotea común (AC) y la azotea verde (AVE). **(b)** Coeficiente de escurrimiento (Q/P) en la AC y la AVE

La influencia del antecedente de precipitación (AP) e intensidad promedio de lluvia ($Int\ prom\ P$) en el coeficiente de escurrimiento de la AC y AVE se muestra en la Fig. 3. Se observa que sin importar el antecedente de lluvia, la AC presentó un coeficiente de escurrimiento mayor a 0.85. En contraste, en la AVE los eventos con valores de $AP < 35$ mm (antecedentes de lluvia bajos) presentaron una retención de lluvia promedio de 70%; para valores de AP en el rango de 35-66 mm (antecedentes de lluvia moderados), la retención fue cercana al 60%, y para $AP > 66$ mm (antecedentes de lluvia altos) la retención disminuyó hasta un 25% aproximadamente; hallándose diferencias significativas en los volúmenes de escurrimiento generados por rango de AP entre azoteas ($p < 0.05$). Además, se observó en ambas azoteas de manera general un incremento en el Q/P (0.7 a >1 y de 0 a 0.9 en la AC y AVE, respectivamente), conforme la $Int\ prom\ P$ aumentó, encontrándose una correlación significativa entre estas variables ($p < 0.05$). En cada azotea, no se encontraron diferencias en el Q/P a intensidades promedio de 1-3 y >3 mm/hr ($p > 0.05$) (Fig.3b). Sin embargo, al compararse el Q/P por rango de $Int\ prom\ P$ entre azoteas, las diferencias fueron significativas ($p < 0.05$).

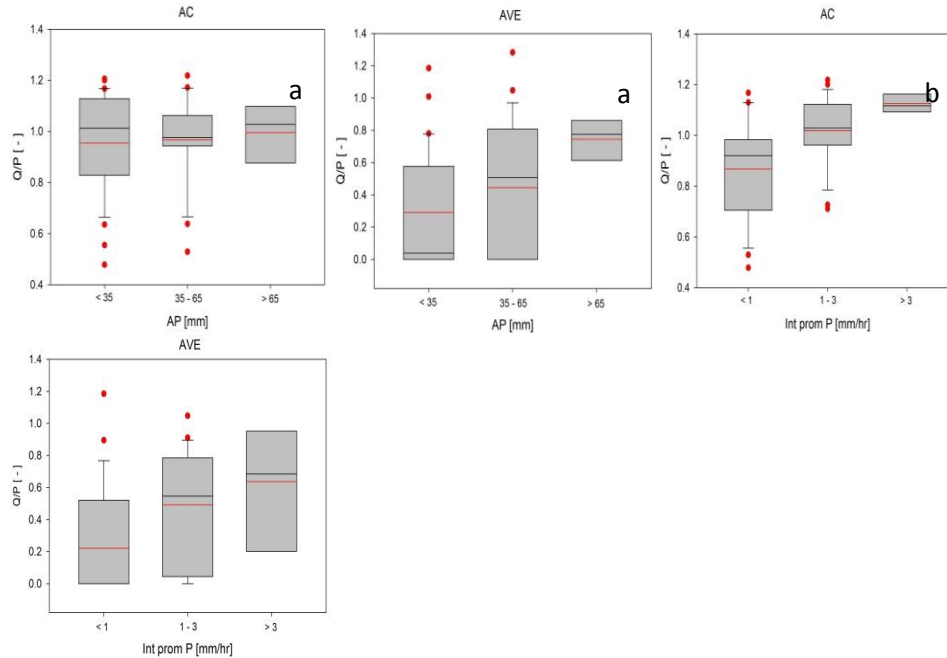


Fig. 3. Coeficientes de escurrimiento (Q/P) en la azotea común y verde extensiva para todos los eventos divididos en tres clases: **(a)** antecedente de precipitación (AP ; mm) e **(b)** intensidad promedio de la lluvia ($I \text{ prom } P$; mm/hr).

En la **Fig. 4** se observa un menor tiempo de retraso ($TR \text{ } Q$) promedio en el inicio del escurrimiento del AC (20 min) comparado con la AVE (2 hrs 27 min), lo cual es significativamente diferentes entre azoteas ($p < 0.001$). Por otro lado, el tiempo de duración ($TD \text{ } Q$) del escurrimiento en la AVE y AC presentaron diferencias significativas ($p = 0.002$) con tiempos promedios de 7 hrs 38 min y 5 hrs 52 min, respectivamente.

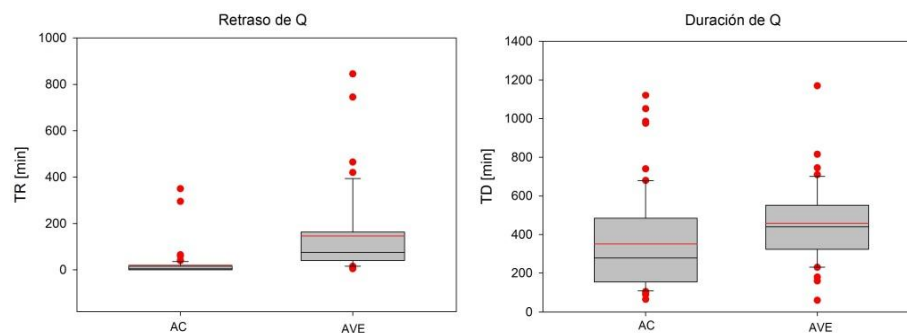


Fig. 4. Tiempo de retraso ($TR \text{ } Q$) y duración del escurrimiento ($TD \text{ } Q$) en la azotea común (AC) y la naturada (AVE).

Los gráficos de la **Fig. 5** muestran la influencia del antecedente de precipitación y la duración del evento de precipitación en el tiempo de inicio del escurrimiento ($TR \text{ } Q$) en ambas azoteas. En la AVE se hace evidente que $TR \text{ } Q$ disminuye a medida que el AP se incrementa (**Fig. 5a**), y $TR \text{ } Q$ aumenta conforme la duración del evento de lluvia se prolonga (**Fig. 5b**). Sin embargo se encontraron diferencias significativas entre intervalos en la precipitación de corta (<5 hrs) y de larga (>10 hrs) duración en la AVE ($p = 0.013$) y entre antecedentes de lluvia moderados (35-66 mm) y altos (>66 mm)

de la AC ($p = 0.014$). Asimismo, se encontraron diferencias significativas en el $TR Q$ al comparar por rango entre azoteas, tanto en el AP como en la duración de la precipitación ($p < 0.05$).

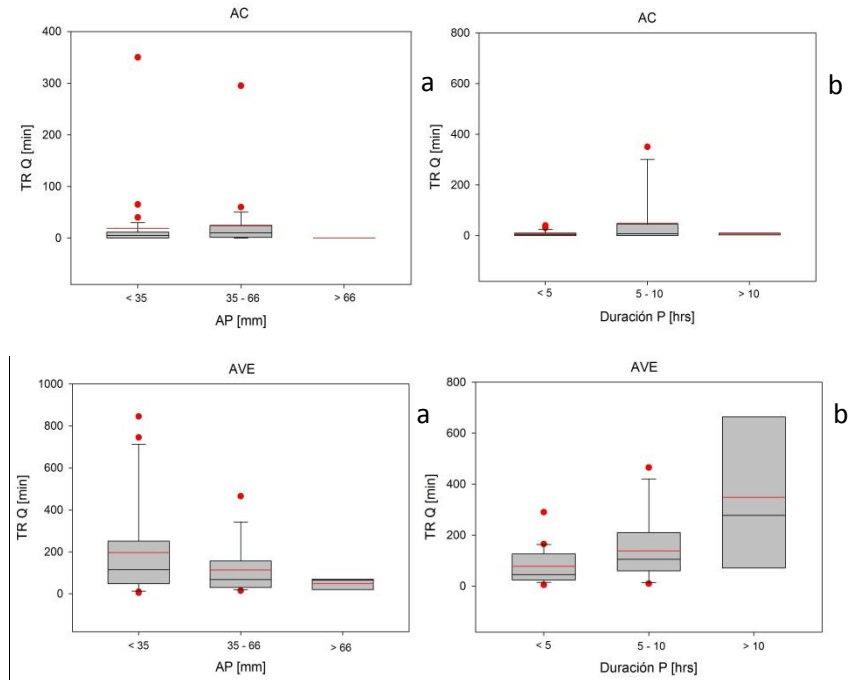
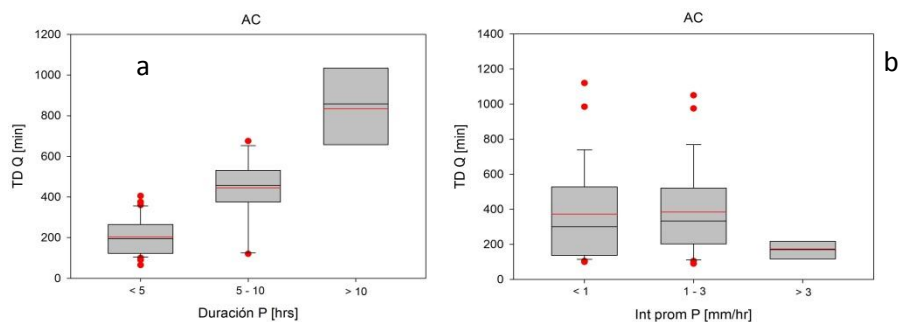


Fig. 5. Retraso en el inicio del escurrimiento ($TR Q$) en la azotea común (AC) y verde extensiva (AVE) para todos los eventos divididos en dos parámetros: **(a)** Antecedente de lluvia (AP) (mm) y **(b)** duración de la precipitación (hrs).

En la **Fig. 6a** se encontró una tendencia entre la duración de la lluvia y el tiempo de duración del escurrimiento ($TD Q$) a incrementar juntas en ambas azoteas ($p < 0.05$). Asimismo observamos que la AVE prolongó el $TD Q$ promedio 3 hrs y 2 hrs más que la AC para los eventos de lluvia < 5 hrs y de 5-10 hrs, respectivamente; hallándose diferencias significativas en la comparación de dichos intervalos entre azoteas ($p < 0.05$); mientras que para precipitaciones con duración > 10 hrs, la AVE redujo el $TD Q$ 4 hrs en promedio comparado con la AC, sin embargo no se sugirieron diferencias significativas para este intervalo entre azoteas ($p > 0.05$). En la **Fig. 6b** se encontró que a una mayor intensidad promedio de lluvia, el $TD Q$ disminuye de forma general en ambas azoteas ($p < 0.05$). Se observó que en eventos con intensidades promedio > 3 mm/hr, el $TD Q$ promedio en la AVE (299 min) fue poco menos que el doble reportado en la AC (174 min), encontrándose diferencias significativas entre azoteas por cada intervalo ($p < 0.05$).



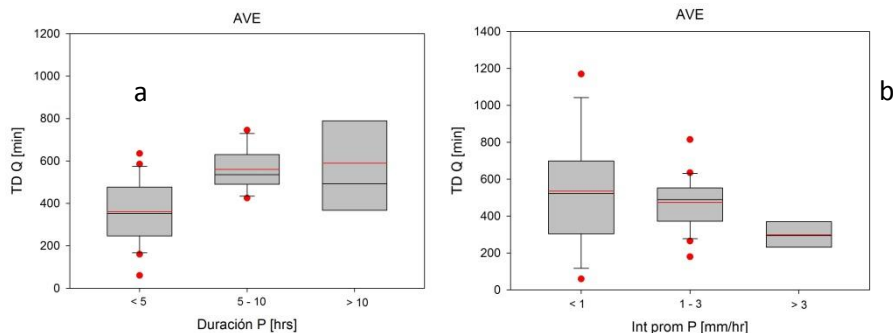


Fig. 6. Duración del escurrimiento ($TD Q$) en la azotea común (AC) y verde extensiva (AVE) para todos los eventos divididos en dos clases: (a) duración del evento de precipitación (hrs) e (b) intensidad promedio de la precipitación ($Int prom P$) (mm/hr).

En la AVE, el contenido de humedad en el suelo varió entre el 0.125 y el 0.433 $m^3 m^{-3}$ durante el período de estudio. El rango de humedad antes del inicio del evento de lluvia fue de 0.127 a 0.338 $m^3 m^{-3}$ en el lado “A” y de 0.154 a 0.361 $m^3 m^{-3}$ en el lado “B”, la diferencias entre ellas fueron significativas ($p < 0.001$); mientras que el máximo de humedad en respuesta al primer pico de lluvia estuvo en el rango de 0.125-0.367 $m^3 m^{-3}$ en la zona “A” y de 0.155-0.433 $m^3 m^{-3}$ en la “B”; siendo también significativas ($p < 0.001$). En la **Fig. 7** se muestran los contenidos de humedad en suelo ($m^3 m^{-3}$) en respuesta a las entradas por precipitación (mm); siendo positiva y significativa con un valor de $p = 0.019$ en el lado “A” y de $p = 0.001$ en el “B”. Asimismo, se registró para ambas zonas de la AVE un tiempo promedio de respuesta de 59 min al evento de lluvia, y un tiempo promedio al valor máximo de humedad en respuesta al primer pico de la precipitación de 2 hrs. Comparando estos datos con el $TR Q$ promedio (2 hrs 26 min), se encontró que hay un período de 1 hr 26 min entre la respuesta en la humedad del suelo y el escurrimiento de la AVE una vez iniciado el evento de lluvia y de 26 min entre la respuesta en humedad de la AVE al primer pico de lluvia y el inicio del escurrimiento.

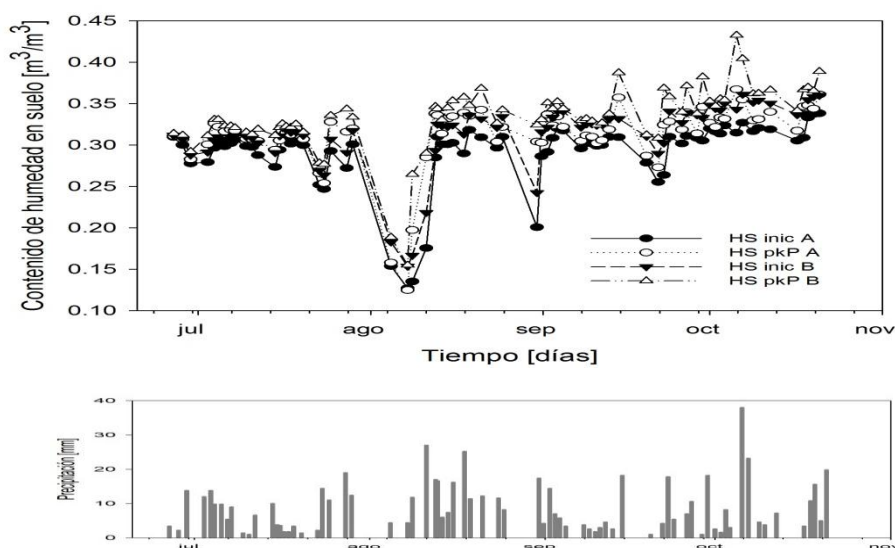


Fig. 7. Contenido de humedad en suelo de la azotea verde extensiva e histograma de la precipitación por evento ($n=73$) durante el período de muestreo (Junio-Octubre de 2014).



4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran una retención promedio de lluvia del 61% para la AVE y del 4% en la AC, evaluado a través de eventos de precipitación-escurrimiento observados simultáneamente en ambas azoteas. Comparado con otros estudios, el valor obtenido para la AVE se encuentra dentro del rango reportado en sistemas de naturación en azoteas, en específico las de tipo extensivo (DeNardo *et al.*, 2005; Mentens *et al.*, 2006). Sin embargo, existen diferencias en los volúmenes de retención por rangos de precipitación comparado con otros estudios (Carter y Rasmussen, 2006; Hakimdavar *et al.*, 2014), esto muy probablemente debido a diferencias en las condiciones climáticas y ambientales de las distintas regiones, las cuales tienen un papel importante en el comportamiento hidrológico de las azoteas verdes.

La AC mostró una relación lineal y positiva entre la precipitación y el escurrimiento, lo cual coincide con lo que reportan Mentens y colaboradores (2006), misma que no se vio afectada por las características de la precipitación, en particular la intensidad de lluvia. Por el contrario en la AVE, los coeficientes de escurrimiento mostraron aumentos conforme las intensidades promedio de lluvia y los antecedentes de precipitación incrementaban, lo cual también fue observado por Hakimdavar y colaboradores (2014); este comportamiento puede atribuirse a una menor capacidad de almacenamiento de agua en el suelo de la AVE en respuesta a mayores intensidades de lluvia y también a condiciones de saturación.

Se encontró un tiempo de retraso mayor y significativo en el inicio del escurrimiento en la AVE comparado con la AC (2 hrs 26 min vs 20 min). Se observó también que esta variable en la AVE guarda una relación directa con el tiempo de duración de la lluvia, mientras que con el antecedente de precipitación la correlación fue inversa. Para el caso de la AC no se encontró ninguna relación en este respecto. El tiempo de duración del escurrimiento en la AC (5 hrs 52 min) fue menor y significativo comparado con el de la AVE (7 hrs 38 min). En este caso, esta variable mostró para ambas azoteas, una relación inversa con la intensidad promedio de la lluvia y una relación lineal con la duración de la lluvia. En el caso de la AVE, se observa un amortiguamiento de la precipitación y la duración del escurrimiento, sin embargo en este último observamos que el estatus de humedad juega un papel importante. El retraso en el inicio del escurrimiento y duración del mismo de la AVE, se atribuye a las condiciones de humedad del suelo y a la presencia de cobertura vegetal. Sin embargo, hay otros factores que también pueden afectar la capacidad de una azotea verde para mitigar el escurrimiento como son la pendiente del techo, la profundidad y propiedades hidráulicas del sustrato, el antecedente de humedad en suelo influenciado por la evapotranspiración, entre otros.

Durante el periodo observado, la humedad en el suelo en la AVE varió en un rango de 12 a 43%. Las diferencias en los contenidos de agua en suelo por zonas, se atribuyen a las diferencias en cobertura vegetal. El lado A con menor cobertura y dominancia de cactáceas mientras que el lado B con mayor cobertura y dominancia de Agave y Opuntia. Además, algunos sensores quedaron bajo sombra y otros más expuestos a la radiación solar, sin embargo con el transcurrir de la época de lluvias y crecimiento de la vegetación, la cobertura vegetal fue aumentando homogeneizando estas condiciones. De manera general, se observaron incrementos en los contenidos de humedad en suelo después de 59 min de iniciada la lluvia en promedio. Después de un lapso de 2 hrs 26 min, cuando condiciones de suficiente saturación fueron alcanzadas, el proceso de generación de escurrimiento de agua de lluvia tuvo lugar en la azotea verde.

Los resultados confirman que comparando con una azotea común, la azotea verde extensiva tiene la capacidad de retener, atenuar y retrasar el escurrimiento de la precipitación, reduciendo así el aporte



pluvial del edificio en el alcantarillado. Este estudio tienen como finalidad contribuir en el conocimiento con respecto al rol de las azoteas verdes en el rendimiento hidrológico y su implementación como parte de la gestión de aguas pluviales urbanas en la Cd. de México, aportando a una ciudad más sostenible. Sin embargo, se recomienda realizar más estudios interdisciplinarios sobre los beneficios de estos sistemas, tomando en cuenta las características específicas de México; las condiciones climáticas y ambientales, propiedades de la edificación y de su entorno, para proporcionar una integración eficiente de investigación y una mejor visión en la implementación de políticas públicas.

5 AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Jardín Botánico por los permisos otorgados para realizar esta investigación y al Biól. Jerónimo Reyes por brindar su apoyo. Se agradece también a la Dra. Margarita-Collazo y al Dr. Friso Holwerda por sus asesorías en este trabajo. Al CONACYT, por la beca de maestría a través del Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. Esta investigación fue parcialmente financiada con fondos PAPIIT (IB100313-RR160313) a cargo de la Dra. Lyssette Muñoz-Villers.

6 LITERATURA CITADA

- Acosta L. A. 2016. Efecto de la profundidad del sustrato en el crecimiento y cobertura de cuatro especies de crasuláceas en una azotea verde extensiva. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Arellano L. E. A. 2012. Capacidad de retención de hidrocarburos aromáticos policíclicos y metales pesados en una azotea verde extensiva. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S. y Palutikof, J.P. (Eds.), 2008. Climate Change and Water. *Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat*, Geneva, pág. 210.
- Bengtsson L., Grahn L., Olsson J., 2005. Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. *Nordic Hydrology*. 36 (3), 259–268.
- Carbajal A. J. 2009. Diseño térmico de azotea verde en clima cálido húmedo. *Tesis de Maestría*. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Carter T. L. y Rasmussen T. C. 2006. Hydrologic behavior of vegetated roofs. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. 42(5): 1261–1274.
- Castleton H.F., Stovin V., Beck S.B.M. y Davison J. B. 2010. Green roofs; building energy saving and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*. 42:1582-1591.
- Chow T. V., Maidment D.R. y Mays L. W. 1994. *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill. Colombia. 584 pp.
- Czemiel B.J. 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*. 36: 351-360.
- DeNardo J.C., Jarrett A.R., Manbeck H.B., Beattie D.J. y Berghage R.D. 2005. Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. *Trans. ASAE* 48 (4): 1491–1496.
- Organización de las Naciones Unidas. 2015. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. Departamento de Asuntos Sociales y Económicos, División Población. Nueva York. 493 pp.
- Dunnett N., Nagase A., Booth R. y Grime P. 2008. Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments. *Urban Ecosystems*. 11:385-398.
- García E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. *Series Libro*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.



- Hakimdavar R., Culligan J. P., Finazzi M, Barontini S. y Ranzi R. 2014. Scale dynamics of extensive green roofs: Quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modeled green roof hydrologic performance. *Ecological Engineering*. 73:494-508.
- Hilten R.N., Lawrence T.M. y Tollner E.W. 2008. Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D. *Journal of Hydrology*. 358: 288–293.
- Köhler M., Schmidt M., Grimme F.W., Laar M., de Assunção Paiva V.L. y Tavares S. 2002. Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics – far beyond the aesthetics. *Environmental Management and Health* 13 (4): 382–391.
- Li W.C. y Yeung K.K.A. 2014. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 3:1127-134.
- Lundholm J. 2006. Green roofs and facades: a habitat template approach. *Urban Habitats*. 4(1):87-101.
- Mentens J., Raes D. y Hermy M. 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and urban planning*. 77:217-226.
- Metselaar K. 2012. Water retention and evapotranspiration of green roofs and possible natural vegetation types. *Resources, Conservation and Recycling*. 64:49-55.
- Monroy C. A. 2012. Evaluación fisiológica de dos especies del género *Sedum* (Crassulaceae) utilizadas en “Azoteas verdes extensivas”. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F
- Monterusso M.A., Rowe D.B., Rugh C.L. y Russell D.K. 2004. Runoff water quantity and quality from green roof systems. *Acta Horticulturae*. 639: 369–376.
- Moran A., Hunt B. y Smith J. 2005. Hydrological and water quality performance from greenroofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina. En: *Green Roofs for Healthy Cities Conference*, Mayo 2005, Washington, DC.
- Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R.R, Doshi H., Dunnett N, Gaffin S., Köhler M., Liu Y.K. y Rowe B. 2007. Green Roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *Bioscience*. 57:823–33.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 8(1-2):59-129.
- Secretaría del Medio Ambiente. 2006. *Memorias. Dirección general de bosques urbanos y educación ambiental*. Gobierno del Distrito Federal. México. 203 pp.
- Simmons M.T., Gardiner B., Windhager S. y Tinsley, J. 2008. Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. *Urban Ecosystems*. 11: 339–348.
- Teemusk, A. y Mander, Ü. 2007. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: the effects of short-term events. *Ecological Engineering*. 30: 271–277.
- Tovar J. E. I., Figueroa A.C. y Gordon S.M. 2014. Criteria for selection of plant species for its deployment in thermally efficient architectural green roofs in the Metropolitan Area of Mexico City: methodological guidelines. *Energy Procedia*. 57:1789-1807.
- Valiente-Banuet, A. y de Luna E.G. 1990. *Una lista florística para la Reserva de Pedregal de San Ángel, México, D. F.* *Acta Botánica Mexicana*. 9:13:30.
- VanWoert N. D., Rowe D. B., Andresen J. A., Rugh C. L., Fernandez R. T. y Xiao L. 2005. Green roofs stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of Environmental Quality*. 34: 1036–1044.
- Viessman W., Lewis G. y Knapp J.W. 1989. *Introduction to hydrology*. Harper y Row Publishers, Nueva York, USA, 3ra edición. 780 pp.



IV CONGRESO
NACIONAL

MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

- Villareal E.L. y Bengtsson L. 2005. Response of a sedum green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering*. 25:1–7.



Extenso ID: 112 Wenceslao Tobias Vásquez Pérez¹, Ronald Ernesto Ontiveros Capurata² RELACIÓN PRECIPITACIÓN – CAUDAL EN TRES MICROCUENCAS DE LA SIERRA JUÁREZ, OAXACA, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

¹Postgrado en Conservación de los Recursos Forestales. Universidad de la Sierra Juárez. Av. Universidad SN, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. Email: tobi_vasquezper@hotmail.com;

²Universidad de la Sierra Juárez. Av. Universidad SN, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México Email: rononti@gmail.com.

RESUMEN

El estudio de la cantidad y distribución en tiempo y espacio del flujo hídrico y precipitación en las cuencas es de gran importancia para un uso adecuado del recurso hídrico. En el presente trabajo se realizó un análisis de las relaciones precipitación - caudal (obtenido en campo) para tres microcuencas piloto ubicadas en la Sierra Juárez de Oaxaca, México (Río Salinas, Río La Platera, y Río Xía) las que se ubican en una de las zonas de mayor biodiversidad y mejor conservadas de México. Para el desarrollo del trabajo se instalaron estaciones de medición de precipitación y temperatura durante el periodo de agosto 2014 a julio 2015, el caudal se calculó a partir de la velocidad de flujo superficial y del área. Los resultados obtenidos indican que la precipitación anual acumulada oscila entre 238.4 mm a 840.2 mm mientras que el caudal anual total varía de 2.1 m³/seg a 5.6 m³/seg, el periodo de lluvias comprende los meses de junio a noviembre seguido por un periodo seco con presencia de lluvias espontáneas y ligeras que va de diciembre a mayo, si bien se observa un comportamiento similar entre la ocurrencia de lluvias y el incremento del caudal a la salida de las microcuencas esta relación no es lineal, lo cual puede deberse principalmente a la influencia de otras variables como las características físicas de las microcuencas, tipo de suelo y vegetación, pendientes, aportes subterráneos, alta capacidad de retención de humedad e infiltración del suelo en todas las microcuencas estudiadas. Se recomienda continuar con mediciones periódicas y el empleo de modelos para el cálculo de caudal que incluyan estas variables p. ej. el método del SCS o número de curva.

Palabras clave: *Cuenca Papaloapan, precipitación, caudal, microcuenca*

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de las cuencas hidrográficas, deriva de sus múltiples funciones como escenario de los procesos ecosistémicos y socioambientales que describen el intercambio y flujo de energía, entre estas funciones están, la función hidrológica ya que realizan la captación de agua para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos, la función ecológica ya que provee hábitat para la flora y la fauna, la función ambiental ya que constituye sumideros de CO₂, regula la recarga hídrica, conserva la biodiversidad y mantiene la integridad y la diversidad de los suelos y por último la función socioeconómica, ya que suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población (García et al, 2005).

El desarrollo de estas funciones depende directamente de la cantidad de agua que circula por la cuenca, por lo que se hace indispensable conocer la cantidad y distribución en tiempo y espacio del flujo hídrico y de la precipitación. Al mismo tiempo estas variables hidrológicas que definen el régimen



hidrológico de una cuenca hidrográfica son difíciles de medir, además que los métodos que utilizan modelos matemáticos empíricos o físicos para cuantificar y explicar los procesos que ocurren dentro de las cuencas requieren de una gran cantidad de información, series de tiempo de al menos 40 años y una distribución de estaciones de medición bien establecidas a lo largo de la cuenca (Altaf et al, 2013). Esta situación impide contar con un diagnóstico hidrológico de las cuencas y se complica más cuando se requiere estudios a nivel local. A principios del siglo XX, Rafter (1903) demostró mediante varios experimentos de campo que existía una compleja relación entre la precipitación y la escorrentía, posteriormente en los 60's Linsley (1967) encontró que ambos procesos están ligados de manera evidente y que además están influenciados por otras características propias de la cuenca como la superficie, el tipo de suelo y la geología.

Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicas definidas por límites naturales superficiales (Campos, 1998) o subterráneos donde sus diferentes componentes interactúan bajo la influencia del agua, la cual se mueve dentro de estos límites según el ciclo hidrológico, desde su caída como precipitación hasta el escurrimiento hacia ríos, lagos y océanos (World Visión, 2004). Entender cómo funcionan estos procesos y su relación entre ellos resulta de gran importancia para la gestión del agua.

México, cuenta con 731 cuencas hidrológicas (CH), agrupadas en 37 regiones hidrológicas (RH) y 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA) en las cuales la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) tiene instaladas 3153 estaciones para medir variables climatológicas y 717 estaciones hidrométricas para medir escurrimiento (CONAGUA, 2014). Las regiones hidrológicas descargan un total de 303590 millones de m³ de agua superficial en los océanos de los cuales cerca del 47% corresponde a los ríos Grijalva-Usumacinta y Papaloapan. A su vez la cuenca del Papaloapan, es el segundo de mayor importancia pues su escurrimiento medio anual alcanza los 42 millones de m³ que son vertidos en la laguna de Alvarado, los principales afluentes de esta cuenca nacen de la Sierra Norte en el Estado de Oaxaca, que es considerada como una de las zonas de mayor biodiversidad en México (SEMARNAT, 2015) y que presenta los bosques mesófilos más extensos y mejor conservados del país, por lo que representa una importante zona de recarga hídrica, gran capacidad de captación de agua, altas precipitaciones de hasta 2300 mm anuales. (Merino, 2008).

Aunado a lo anterior, la Sierra Juárez de Oaxaca se constituye en una zona de importancia hidrológica para la cuenca del Papaloapan pues en esta región se da la mayor cantidad de recarga hídrica, sin embargo presenta una morfología abrupta y pendientes muy pronunciadas con alturas que varían desde los 3000 a 200 m.s.n.m. (Rodríguez, 2011), lo que ocasiona que la obtención de información hidrológica a escala local sea escasa y difícil de medir, por ello, el objetivo principal de esta investigación fue realizar un análisis de las relaciones caudal- precipitación que permita comprender los procesos hidrológicos a nivel microcuenca para una gestión más eficiente de los recursos hídricos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio que aborda este trabajo se ubica en la región de la Sierra Juárez, Oaxaca, México ubicada en la parte noreste del territorio oaxaqueño y en la parte sureste del territorio mexicano, geográficamente se encuentra en las coordenadas 96° 72' y 96° 49' de Longitud Oeste y entre 17° 36' y 16° 59' Latitud Norte. El análisis de las relaciones precipitación – caudal se realizó en tres microcuencas piloto ubicadas en la Sierra Juárez, Oaxaca, México, estas son: Río Salinas ubicado en la

localidad de La Trinidad, Río La Platera ubicado en la localidad de Nuevo Zoquiapam, y Río Xía ubicado en la localidad de Santa Martha Latuvi (Figura 1).



Figura 1: Ubicación de las microcuencas Río Salinas, Río La Platera y Río Xía, Oaxaca, México (INEGI, 2010).

2.2 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

La delimitación de las microcuencas de la Sierra, Juárez, Oaxaca se realizó de manera digital y automática mediante el uso de la extensión ArcHydro® de ESRI (2011), como insumos se utilizó el Modelo Digital de Elevación (MDE) a una resolución de 30 metros y datos vectoriales de la red hidrográfica ambos adquiridos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010). Los límites de las microcuencas fueron corregidos usando como referencia una imagen satelital y los mapas topográficos a escala 1:50000 del INEGI, así mismo usando las herramientas de análisis de ArcHydro® y ArcMap® se calcularon las características morfológicas más representativas de las tres microcuencas seleccionadas.

Para determinar el comportamiento de las variables de precipitación y caudal se instalaron estaciones equipadas con termómetros y pluviómetros en cada una de las microcuencas piloto con el fin de registrar la temperatura y precipitación en el periodo de agosto 2014 a julio 2015. El caudal superficial a la salida de las microcuencas se obtuvo mediante la ecuación [1], dónde el área de la sección transversal fue calculada mediante mediciones de alturas de tirante de agua a intervalos horizontales equidistantes y para medir la velocidad de flujo superficial se utilizó un flujómetro de propela con contador de revoluciones. Los sensores de precipitación y temperatura fueron configurados para tomar un registro cada 15 minutos mientras que las mediciones de caudal se realizaron cada 15 días.

$$Q = V \times A \quad [1]$$

Dónde, V= Velocidad superficial de la corriente en m/s y A= Área de la sección transversal en m²

La relación entre precipitación y caudal se estimó considerando las microcuencas Río Salinas, Río La Platera y Río Xía y se obtuvo por medio de la tabulación y análisis gráfico entre las variables

hidrológicas, utilizando los resultados de precipitación (obtenida por la estación pluviométrica) y datos de caudal (obtenido en campo) en un periodo de agosto 2014 a julio de 2015.

3. RESULTADOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MICROCUENCAS

Las microcuencas estudiadas presentan una superficie de entre 20 a 134 km² y un perímetro de entre 25 a 90 km (Cuadro 1) lo que las categoriza como microcuencas de tamaño pequeño a mediano, las pendientes oscilan entre 6 a 13 % lo que indica que las microcuencas presentan pendientes muy altas, así mismo la red de drenaje tiene una densidad de 1.6 a 2.1 lo que indica que está bien desarrollada con suelos poco erosionables y muy permeables.

El factor de forma (<1) y coeficientes de compacidad (>1) obtenidos para las microcuencas indican que presentan formas alargadas lo que reduce el riesgo de posibles inundaciones en las partes bajas, además las pendientes del cauce principal van de (6-13%) y tiempo de concentración (41-139') indican que la infiltración en los cauces superficiales es suficiente como para que el agua circule por la superficie a bajas velocidades y se reduzca el riesgo a deslaves.

El uso de suelo en las tres microcuencas es mayormente forestal, aunque la agricultura y fruticultura se desarrolla en las partes altas del Río Salinas y con menor frecuencia en el Río Xía; en la zona del Río La Platera la producción de cultivos de crecimiento rápido como verduras y flores en invernaderos juega un papel importante para la economía de los pobladores hecho que ha derivado en un incremento de la superficie destinada para esta actividad.

Cuadro 1: Parámetros morfométricos principales para las microcuencas estudiadas

Parámetros morfométricos	Río Salinas	Río La Platera	Río Xía
Área (Km ²)	20.46	89.27	133.74
Perímetro (Km)	25	59.19	89.95
Densidad de Drenaje	1.74	1.61	2.14
Pendiente media del cauce principal (Km)	13.17	9.31	6.12
Longitud del cauce principal (km)	8.7	16.28	28.47
Tiempo de concentración (min)	41.40	77.27	138.90
Factor de forma	0.27	0.34	0.17
Coeficiente de compacidad	1.55	1.76	2.19

3.2 TEMPERATURA DE LAS MICROCUENCAS

La temperatura está fuertemente influenciada por la altura y por el tipo de uso de suelo, es más baja en las zonas altas que presentan bosques naturales (Río Salinas) que en las zonas bajas con uso agrícola o invernaderos (Río La Platera), los valores de temperatura promedio anual registrada en las tres microcuencas estudiadas (Río Salinas, Río La Platera y Río Xía) fue de 14 °C, 16°C y 14.5°C respectivamente, a nivel mensual se observó un comportamiento monomodal muy similar en las tres microcuencas durante todo el año, las mínimas se registraron en enero (de 11 a 13 °C) y el mes más

caluroso fue abril (de 16 a 18 °C), aunque en el Río La Platera se registraron temperaturas más altas durante junio con 18.5 °C (Figura 2).

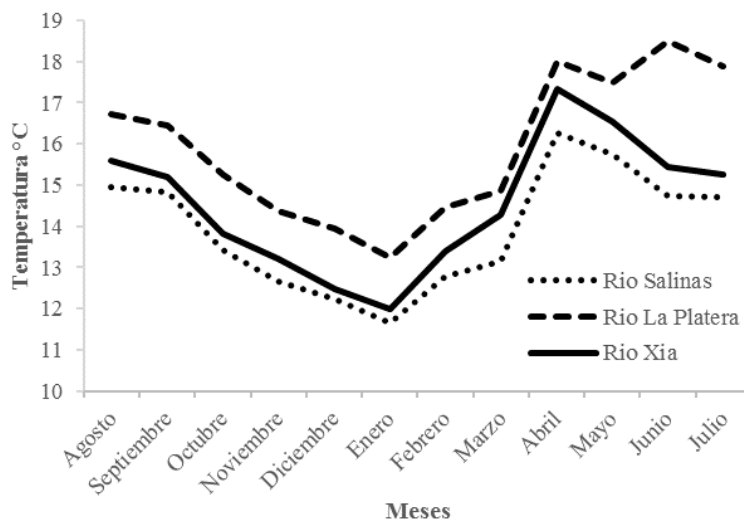


Figura 2.- Temperatura registrada en las microcuencas Río Salinas, Río La Platera y Río Xía.

3.3 PRECIPITACIÓN EN LAS MICROCUENCAS

La precipitación anual acumulada para las tres microcuencas (Río La Platera, Río Xía y Río Salinas) fue de 238.4, 449.8 y 840.2 mm respectivamente, el comportamiento mensual es irregular, aunque es posible observar un periodo con altas precipitaciones que va de junio a noviembre seguido de un periodo más seco de diciembre a mayo (Figura 3), estas diferencias son más notorias en Río La Platera donde se registran cuatro meses sin precipitación (febrero a mayo).

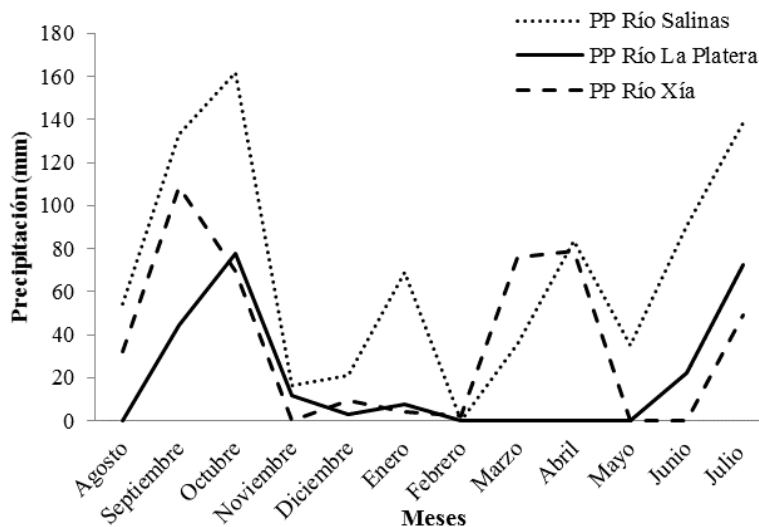


Figura 3.- Precipitación registrada en las microcuencas Río Salinas, Río La Platera y Río Xía.

El mes más lluvioso es octubre en Río La Platera y Río Salinas con 77.4 mm y 161.8 mm respectivamente, mientras que en el Río Xía llueve más en septiembre con 108.4 mm, la microcuenca



Río Salinas no solo es donde llueve más sino también donde la distribución de la precipitación es más homogénea ya que en febrero es el único mes donde no se tiene precipitación. Esta distribución irregular de las precipitaciones tiene relación directa con el tipo de vegetación presente en cada una de las microcuencas, en las microcuencas de los ríos Salinas y Xía la presencia de bosques naturales de pino provocan la generación de precipitaciones aun durante los meses más secos como enero o marzo, mientras que en la microcuenca del Río La Platera con escasa vegetación y abundancia de vegetación arbustiva y presencia de invernaderos las precipitaciones son más reducidas.

3.4 RELACIÓN PRECIPITACIÓN-CAUDAL

Los caudales anuales totales a la salida de las microcuencas estudiadas fueron estimados en 2.1 m³/seg para el Río Salinas, 3.7 m³/seg para el Río La Platera y de 5.6 m³/seg para el Río Xía, la (Figura 4) muestra la comparación de los valores de precipitación y caudal para las tres microcuencas estudiadas, el comportamiento de ambas variables a lo largo del año es similar, aunque esta relación no es lineal.

La curva de los caudales mensuales a la salida de las microcuencas está caracterizada por dos estaciones hidrológicas, un periodo de aguas altas y otro de aguas bajas, los picos máximos mensuales de caudal y precipitación en las tres microcuencas estudiadas coinciden en octubre para las microcuencas Río Salinas y Río La Platera mientras que para el Río Xía el máximo de precipitación se da en septiembre y el de caudal en octubre, los caudales mínimos se presentan en los meses de enero a mayo que corresponde a los meses de invierno y primavera y coincide con la época seca donde la precipitación es mínima.

La ocurrencia de un evento de precipitación como flujo superficial dentro de una microcuenca no se produce en las mismas condiciones ni en las mismas proporciones aun cuando la cantidad y duración de la precipitación es homogénea (Vancon, 1996), así mismo el análisis del régimen de caudales de una microcuenca es una expresión conjunta de todas las características hidrológicas (Belhassan, 2011)

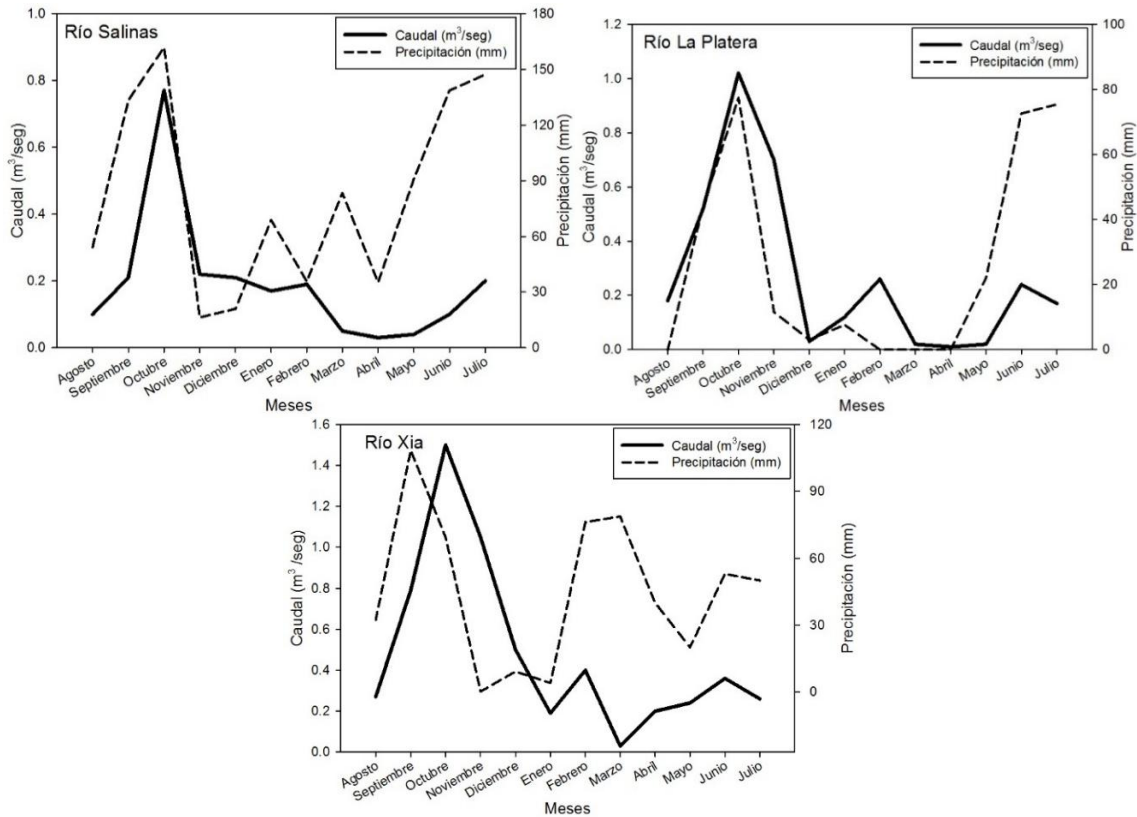


Figura 4.- Precipitación y caudal en las microcuencas Río Salinas, Río La Platera y Río Xía. Por otra parte, el régimen hidrológico de los ríos está influenciado por la cantidad de lluvia, intercambio con las aguas subterráneas y la infiltración del agua en el suelo por efecto del tipo uso de suelo (Anwar, 2011).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La relación P/Q es positiva en los meses de marzo a septiembre y se hace negativa entre octubre a diciembre esto quiere decir que durante gran parte de la época de lluvias (junio a septiembre) la precipitación excede al caudal en todas las microcuencas, sin embargo entre octubre a diciembre el caudal es mayor que la precipitación en las tres microcuencas, lo anterior indica la presencia de tres épocas marcadas en la relación anual de P/Q, la primera donde la precipitación supera significativamente al caudal (marzo a septiembre), una segunda época donde la precipitación es menor al caudal (octubre a diciembre) y la tercera donde la precipitación es nula o intermitente y no genera caudal (enero a febrero), el caudal que escurre en estos meses es natural y derivado de fuentes subterráneas. La microcuenca Río La Platera muestra un comportamiento más irregular que las otras dos microcuencas, ya que presenta un periodo sin precipitación ni caudal más largo (enero a abril) probablemente debido a que en esta microcuenca el uso del agua es mayor, ya que la mayoría de sus pobladores se dedican a la agricultura y en los últimos años la producción de tomate bajo invernadero se ha desarrollado aún más, además que actualmente existen dos criaderos de trucha, lo que ha ocasionado un desequilibrio en los caudales naturales.

Estas anomalías en la relación P/Q pueden deberse principalmente a la influencia de otras variables como las características físicas de las microcuencas, tipo y uso de suelo, tipo de vegetación, alta capacidad de retención de humedad e infiltración del suelo, pendiente y tamaño de la microcuenca (Anwar, 2011), características que a continuación se abordan en este estudio ya que se consideran de



importancia para tener una mejor comprensión de las dificultades de predecir con exactitud la cantidad de caudal resultante de un evento de lluvia.

Las características físicas de las microcuencas inciden directamente en la relación P/Q, debido a que dependiendo del área y perímetro de las microcuencas, forma, tipo de pendiente, densidad de drenaje y el tiempo de concentración, el caudal en las microcuencas respecto a la precipitación varía (Anwar, 2011). Existen además otros factores que influyen en el proceso de P/Q que a continuación se describen (FAO, 1991)

A parte de las características que presenta la precipitación como la intensidad, la duración y la distribución hay una serie de factores específicos que tienen una influencia directa en la aparición y volumen de caudal.

Tipo de suelo: La capacidad de infiltración depende de la porosidad del suelo que determina la capacidad de almacenamiento del agua y afecta a la resistencia del agua a fluir hacia capas más profundas. La porosidad difiere de un tipo de suelo a otro, las capacidades más altas de infiltración se observa en suelos sueltos o arenosos, mientras que los suelos arcillosos pesados tienen las capacidades más pequeñas de infiltración. La capacidad de infiltración depende, además, del contenido de humedad que prevalece en un suelo en el inicio de una tormenta.

Tipo de vegetación: La cantidad de lluvia perdida y almacenada depende del tipo de vegetación, por ejemplo un cultivo de cereales tiene una capacidad de almacenamiento más pequeño que un cultivo de hierba densa. Más significativo es el efecto de la vegetación que se tiene en la capacidad de infiltración del suelo, ya que una cobertura vegetal densa protege el suelo del impacto de la lluvia y reduce el efecto de la formación de agrietamientos. Además, el sistema de raíces así como la materia orgánica del suelo aumentan la porosidad del suelo lo que permite al agua infiltrarse más rápido. La vegetación también influye en el retardo del caudal en una microcuenca sobre todo en pendientes suaves, dando más tiempo al agua para infiltrarse. En conclusión, un área densamente cubierta de vegetación genera menos caudal que un suelo desnudo.

Pendiente y tamaño de la microcuenca: Investigaciones realizadas han demostrado que las zonas con pendiente pronunciada producen más flujo superficial que aquellos con pendientes suaves a la salida de las microcuencas. En cuanto al tamaño de las microcuencas, cuanto mayor sea el tamaño, mayor será el tiempo de concentración y menor la eficiencia de caudal.

Los parámetros morfométricos calculados muestran que las microcuencas presentan formas alargadas, lo cual disminuye el riesgo a que ocurra una inundación, coberturas vegetales densas, suelos duros, poco erosionables y muy permeables, además valores de pendientes del cauce principal y tiempo de concentración bajas que significa que la infiltración en los cauces superficiales es muy buena ya que el agua se transporta a bajas velocidades.

Las microcuencas, Río Salinas, La Platera y Río Xía experimentan en los meses de septiembre y octubre los máximos caudales y precipitaciones, siendo los meses de enero a marzo los meses que presentan los caudales mínimos.

Existe una marcada relación entre precipitación-caudal en las tres microcuencas estudiadas, sin embargo, estas relaciones no son lineales y están fuertemente influenciadas por las características físicas de las microcuencas y otras variables como tipo de uso y vegetación, pendientes, aportes subterráneos, alta capacidad de retención de humedad e infiltración del suelo.

5. AGRADECIMIENTOS



Agradezco a mi director de tesis Doctor Ronald E. Ontiveros Capurata por la asesoría que brindó durante el desarrollo de este trabajo. Además agradezco a PRODEP por financiar el proyecto titulado “vulnerabilidad a la degradación en las cuencas hidrográficas de la Sierra Juárez”, Oaxaca en el periodo de 2013-2015.

6. LITERATURA CITADA

- Altaf, F. Meraj, G. and S.A. Romshoo. 2013. “Morphometric Analysis to Infer Hydrological Behaviour of Lidder Watershed, Western Himalaya, India”. *Geography Journal*, Vol. 2013, pp. 1-14.
- Anwar, M. 2011. The rainfall-runoff model using of the watershed physical characteristic approach. *International Journal of civil & Environmental Engineering*. 11 (06): 71-75 pp.
- Belhassan, K. 2011. “Relationship between River Flow, Rainfall and Groundwater pumpage in Mikkes Basin (Morocco)”. *Iranian Journal of Earth Sciences*. 3: 98-100 pp.
- Campos, D. 1998. “Procesos del ciclo hidrológico. Geomorfología de la cuenca”. San Luis Potosí, México, En: http://books.google.com.mx/books?id=tkUYqd0Aac8C&pg=SA2PA16&dq=Procesos+del+ciclo+hidrol%C3%B3gico.+Geomorfolog%C3%ADa+de+la+cuenca&hl=es&sa=X&ei=w_IMUsO4N8H5qAHb34DYBQ&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q=Procesos%20del%20ciclo%20hidrol%C3%B3gico.%20Geomorfolog%C3%ADa%20de%20la%20cuenca&f=false. Fecha de consulta: 05 Julio de 2016.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2014. “Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía”. Organismo de cuenca Golfo-Centro, Xalapa, Veracruz, pp. 1-163.
- ESRI. 2011. Arc Hydro Tools Overview Version 2.0. USA.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1991. Roma, En: <http://www.fao.org/docrep/u3160e/u3160e00.htm#Contents>. Fecha de consulta: 31 Agosto de 2016.
- García, A; Campos, J; Villalobos, R; Jiménez, F y R, Solórzano. 2005. “Enfoques de manejo de recursos naturales a escala de paisaje”. Turrialba. Costa Rica, En: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2981E/A2981E.PDF> Fecha de consulta: 09 Julio de 2016.
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Guías para la interpretación de cartografía. México.
- Linsley, R. K. 1967. “The relation between rainfall and runoff”. *J. Hydrol.* 5: 297–311 pp.
- Merino, L. 2008. “Conservación comunitaria en la cuenca alta del Papaloapan, Sierra Norte de Oaxaca”. *Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, Vol. XXI, No. 68, Enero-Junio, 2008, pp. 37-49.
- Rafter, G. 1903. “The relation of rainfall to run-off”. United States Geological Survey. Washington.



IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

- Rodríguez, S. 2011. “Atlas de riesgos del Municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca 2011”. México. Oaxaca, En: http://www.inapam.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/2612/Atlas_Estados/20067_OAXACA_DE_JUAREZ/INFORME_FINAL_OAXACA.pdf. Fecha de consulta: 29 de Julio de 2016.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2015. “Estudio de cuenca de abasto para el desarrollo industrial forestal maderable de la región Sierra Juárez, Oaxaca”. Oaxaca, México, pp. 1-175.
- Vançon, Jean-Pierre. 1996. Méthode d'étude des débits par corrélation. Hydrol. Sci. J.11(3): 17-25 pp.
- World Visión. 2004. “Manual de manejo de cuencas”. El Salvador, En: http://biblioteca.catie.ac.cr/cursocuencas/documentos/Manual_de_Manejo_de_Cuencas_Vision_Mundial_mod.pdf. Fecha de consulta: 28 Julio de 2016.



Extenso ID: 321 Edelmira Ibarra Concepción^a, María Elena GRANADOS GARCÍA, Juan Carlos GONZÁLEZ CORTÉS^a, Carlos Alberto RAMÍREZ MANDUJANO^a. Recuperación de zonas con diferentes tipos de degradación edáfica en la comunidad El escobal, municipio de Morelia

[Regresar al índice](#)

^aFacultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

RESUMEN

En el municipio de Morelia, como en muchas regiones del país, la degradación de suelos tiene su origen en prácticas agropecuarias y forestales inapropiadas, lo que propicia pérdida de nutrimentos, arrastre de sedimentos y su acumulación en ríos, lagos y lagunas, lo que eventualmente conduce a la formación de cárcavas. En este contexto, se plantea la necesidad de llevar a cabo acciones de recuperación del suelo por medio del uso de especies nativas con potencial para adaptarse a sitios que presentan diferente tipo de degradación. El objetivo fue determinar el efecto de factores edáficos sobre el establecimiento de especies leñosas con características morfo-funcionales distintas. En 2014, se plantaron 74 plántulas de *Pinus pseudostrobus*, 220 plantas de *Fraxinus uhdei* y 220 plantas de *Bauhinia variegata* en sitios con diferente grado de perturbación: 1) zona de cárcavas, 2) zona de vegetación secundaria y 3) zona agrícola, de 40X40 m. Se registró la tasa de crecimiento relativo (TCR) de todas las plantas en altura y diámetro después de veinticuatro meses post-plantación. Se analizaron distintos factores edáficos y la humedad del suelo. Los resultados indican que la degradación de los suelos ocurrió por erosión hídrica, ocasionada por la pérdida de cubierta vegetal. El pH varió entre 5.99 y 6.20 y la materia orgánica entre 1.37 en la zona de cárcavas y 5.43% en la zona de cubierta vegetal, la concentración de fósforo fue mayor en la zona agrícola y menor en la zona de vegetación; la humedad del suelo fue mayor en la zona de cárcavas en todos los períodos. La tasa de crecimiento relativo (TCR) de las especies en altura fue mayor en la zona de cárcavas y en diámetro fue mayor en la zona de vegetación, la especie que tuvo mayor tasa de crecimiento relativo tanto en altura como en diámetro fue *P. pseudostrobus*. La supervivencia en general fue de 76%, siendo mayor en la zona de cubierta vegetal y menor en la zona agrícola. Los datos preliminares nos permiten concluir que el contraste entre factores edáficos determinó la instalación de las plantas introducidas como en el caso de *P. pseudostrobus*, especie con mayor tasa de crecimiento relativo, pero menor supervivencia en todos los sitios, en especial en la zona agrícola.

Palabras clave: suelos degradados, cárcavas, especies nativas factores edáficos.

1 INTRODUCCIÓN

La deforestación es un problema multifactorial que tiene que ver con problemas estructurales diversos como el cambio de uso de suelo forestal orientado a actividades agrícolas y ganaderas, así como con el crecimiento urbano e industrial y con la apertura de vías de comunicación (CONAFOR 2010). La deforestación y degradación de suelos forestales, trae como consecuencia la erosión y sedimentación en lagos, lagunas y ríos, disminución en la captación de agua y recarga de acuíferos, inundaciones, reducción del potencial productivo por la pérdida paulatina de la fertilidad de suelos y el decaimiento



de la biodiversidad, todo lo cual repercute en la pobreza y migración de la población rural. En Michoacán, la degradación de los suelos ocurre por la pérdida de nutrientes, por el arrastre del suelo superficial y por la formación de cárcavas (Bravo *et al.* 2008).

En escenarios en los que las perturbaciones naturales o humanas han generado un cambio drástico en la cobertura del suelo, de tal forma que se inhiba el proceso de regeneración, es necesario restaurar (Hobbs y Norton 1996). El retorno a la situación original, aún puede ser posible a través de la recuperación de zonas como reservas de la naturaleza en las que sólo una parte de la comunidad original ha sido alterada. Sin embargo, en muchos sitios sólo será posible aplicar una segunda opción más práctica y que puede combinarse con actividades productivas, aunque éste no siempre es el escenario más factible. El término recuperación se aplica cuando la situación de partida es un ecosistema destruido, y que dependiendo de cuál sea su objetivo final, puede calificarse como restauración o rehabilitación (Bradshaw 2002; SER 2004). En última instancia, la restauración se convierte en una herramienta de manejo en hábitats que han sido afectados en sus componentes físicos, químicos y biológicos.

Un recurso fundamental para llevar a cabo planes de reforestación o restauración, lo constituyen las especies nativas, herbáceas y leñosas con potencial para crecer en zonas alteradas que permitan la recuperación de la fertilidad del suelo y un microclima similares a los originales, así como el restablecimiento de flora y fauna y nativa. Existen en México varios miles de especies leñosas nativas para ser utilizadas con el objetivo de recuperar áreas degradadas (Vázquez-Yanes y Batis 1996), con el tiempo, el conjunto de estas plantas pueden llegar a facilitar de forma natural el reciclaje de nutrientes, preservándose la fertilidad, y en general acercándose gradualmente a la manera cómo funcionan las comunidades naturales. En este sentido, el éxito de una plantación se determina por el grado en que logre cumplir con los objetivos propuestos en cada plan de reforestación, por lo que, todo proyecto forestal debe considerar las necesidades de las comunidades locales.

La micro-Cuenca Umécuaro-Loma Caliente, localizada al suroeste de la Cuenca de Cuitzeo, en el Municipio de Morelia, es un área de gran importancia para la captación del agua que suministra a la urbe y a los sistemas productivos en las zonas bajas de la cuenca (SAGARPA, 2006). En esta región, la deforestación ha afectado el 12 % de su área total (López *et al.* 2004), existe una marcada influencia pedogenética de ladera (erosión-transporte) y cambios en el uso del suelo para llevar a cabo actividades agropecuarias, así como la expansión urbana, lo que trae como consecuencia la degradación del suelo y la aparición de cárcavas (Caterina *et al.* 2004).

Una vez definida el área que sería susceptible de intervenir mediante la introducción de especies que tienen potencial de crecer en áreas perturbadas y, con la autorización del propietario de las parcelas, se gestionó ante el H. Ayuntamiento de Morelia, la donación de plantas. De acuerdo con las especies existentes en el vivero de parques y jardines, las plantas donadas fueron: *Pinus pseudostrobus*, *Fraxinus uhdei* y *Bauhinia variegata*. En este contexto planteamos el objetivo de estudiar el efecto de factores ambientales y edáficos sobre el establecimiento de especies con características morfo-funcionales distintas en sitios con diferente grado de perturbación, que han sido utilizados para la agricultura, la ganadería o cuya pérdida de suelo es muy evidente por la presencia de cárcavas.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La micro-cuenca Umécuaro-Loma Caliente, forma parte del sistema regional de la cuenca de Cuitzeo ubicada entre los estados de Guanajuato y Michoacán. Tiene una extensión de 5,917.4 ha y se ubica en el límite sureste entre las cuencas de Cuitzeo y la del Balsas. El área de estudio se localiza en el poblado de el Escobal a 19° 3' 49.4" N y 101° 14' 44.1" W, a 2160 msnm. Las parcelas se eligieron en tres sitios de 40X40 en los que por diversos tipos de actividad antrópica, se han establecido áreas agrícolas abandonadas, áreas de vegetación secundaria y áreas de cárcavas.

2.2 Diseño experimental

Los tratamientos experimentales se definieron basados en tres grados de perturbación: zona de cárcava, zona de vegetación secundaria y zona agrícola abandonada. Cada tratamiento se estableció en parcelas de 40X40 m. En cada parcela se plantaron 227 plántulas de *Bauhinia variegata*, 202 de *Fraxinus uhdei* y 85 de *Pinus pseudostrobus* las cuales cuentan con características morfo-funcionales contrastadas.

2.3 Caracterización edáfica de las parcelas experimentales

Se realizaron análisis de suelo tomando 7 muestras en la zona de cárcavas, 8 en la zona de vegetación secundaria y 4 en la zona agrícola. Las cuales se dejaron secar a temperatura ambiente en sombra y se tamizaron con una malla de 2 mm. Las muestras de suelo fino obtenidas de acuerdo a la descripción anterior fueron usadas para determinar los siguientes parámetros edáficos: pH, densidad aparente, densidad real, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. Así mismo, se analizaron en el laboratorio del Instituto Tecnológico del Valle de Morelia los nutrientes: sodio, potasio, nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio.

2.4. Humedad del suelo

Se calculó la humedad de las parcelas a partir de muestras obtenidas con barrena holandesa a una profundidad de 30 cm de profundidad, de agosto del 2014 a julio del 2016. Las muestras fueron analizadas siguiendo lo establecido en la NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

2.5 Determinación del crecimiento y la supervivencia

Se realizó el análisis del crecimiento total y de la tasa de crecimiento relativo: $(\ln P2 - \ln P1)/(t2-t1)$ en altura y diámetro basal de las plantas a partir de agosto del 2014 hasta julio del 2016. Se determinó el porcentaje de supervivencia de las plantas durante el mismo período.

2.6 Análisis estadístico

El experimento corresponde a un diseño factorial: tres sitios y tres especies. Las medias humedad del suelo (%), factores edáficos, nutrientes del suelo, tasas de crecimiento relativo TCR en altura y diámetro, fueron comparadas mediante un análisis de la varianza (ANOVA de un factor, *test a posteriori* Tukey's HSD). Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico STATISTICA 13.

3 RESULTADOS

3.1 Humedad del suelo

Durante el período de estudio la humedad del suelo fue mayor en la zona de cárcavas y menor en la zona agrícola, encontrándose diferencias significativas entre sitios ($F=4.346$; $p=.0146$), aunque en el período de sequía, fue mayor en la zona arbolada. El análisis a través del tiempo en cada sitio de estudio mostró que la humedad fue menor en el mes de abril del 2015 y mayor en julio del 2016, con diferencias significativas ($F=7.821$; $p<0.000$). La diferencia de humedad a lo largo del período de estudio en los diferentes sitios, no fue significativa ($F=0.349$; $p=0.990$; Figura 1).

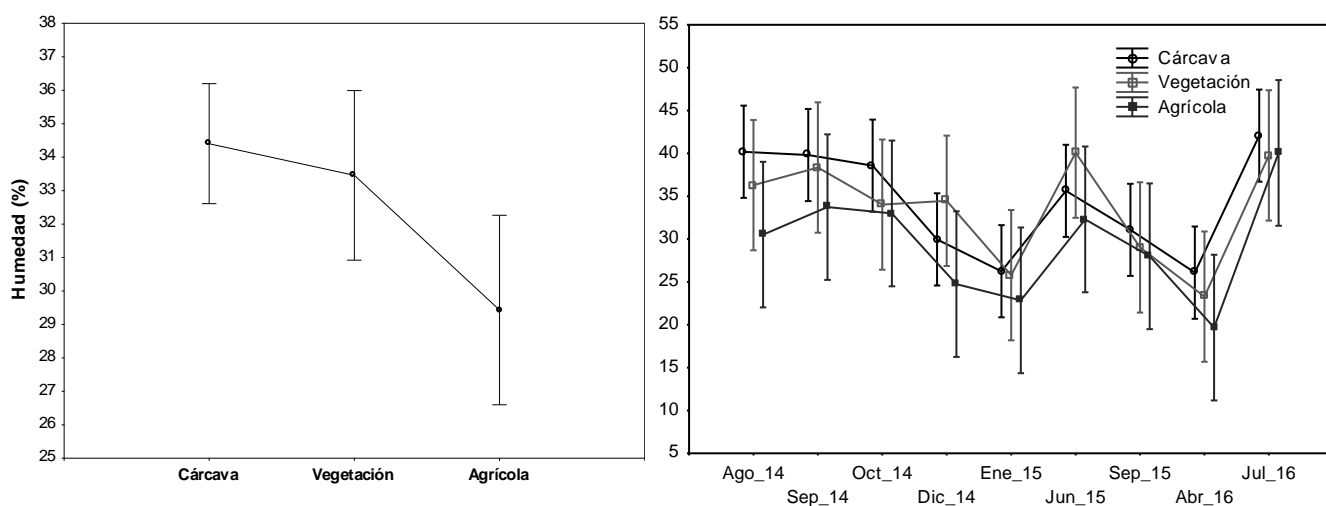


Figura 1. Humedad del suelo en los tres sitios de estudio durante todo el período y a través de medidas repetidas en el tiempo.

3.2 Características edáficas

El análisis sobre las características edáficas de los sitios experimentales mostró que existen diferencias sólo en parámetros como la materia orgánica que resultó ser mayor en la zona arbolada y menor en cárcavas ($F=3.890$; $p<0.05$). En cuanto a los nutrientes, encontramos diferencias significativas en la

concentración de fósforo, siendo mayor en la zona agrícola y menor en la zona de vegetación ($F=6.613$; $p<0.005$; Tabla 1). En cuanto a la textura del suelo se encontró que las cárcavas tienen textura arenosa, la zona de vegetación y la zona agrícola presentan suelo franco arcilloso (datos no mostrados).

Tabla 1. Características edáficas de las zonas experimentales. La parte superior muestra parámetros sobre las propiedades física y químicas; la parte inferior muestra características de fertilidad. Abreviaciones: D.A. densidad aparente; D.R. densidad real; pH potencial de Hidrógeno; MO materia orgánica; CIC capacidad de intercambio catiónico.

Sitio	D. A.	D. R.	pH	MO	CIC
	g/cm ³	g/cm ³	UpH	%	meq/100ss
Cárcava	1.47±0.04	2.49±0.30	5.69±0.09	1.37±0.84b	13.03±0.89
Vegetación	1.49±0.06	2.12±0.42	5.97±0.13	5.43±1.19a	13.68±1.04
Agrícola	1.48±0.08	3.03±0.47	5.77±0.15	2.89±1.33ab	11.53±1.27
	Fósforo	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Cárcava	32.16±5.62ab	2690±420	1275±211	97.71±20.23	26.71±4.37
Vegetación	13.62±7.99b	1470±595	744±299	121.48±28.60	36.66±6.19
Agrícola	57.21±8.94 ^a	1450±665	855±334	183.33±31.98	35.35±6.92

3.3
Crecimiento

y supervivencia

La tasa de crecimiento relativo (TCR) en altura a lo largo del período de estudio reveló que las plantas presentaron mayor crecimiento en la zona de cárcavas y menor en la zona de vegetación secundaria; mientras que la TCR en diámetro fue mayor en la zona agrícola y menor en cárcavas, con diferencias significativas entre sitios ($F=17.858$; $p<0.000$; Tabla 2). Sin embargo es importante hacer notar que la especie *Pinus pseudostrobus* tuvo el 100% de mortandad en la zona agrícola. El análisis sobre la TCR por especie mostró que la especie que mostró mayor crecimiento tanto en altura como en diámetro fue *P. pseudostrobus*, con la consideración hecha anteriormente sobre el hecho de que no hay pinos en la zona agrícola; se observan diferencias significativas en el crecimiento entre especies ($F=116.18$; $p<0.000$; Tabla 2).



La supervivencia de las plantas en general, después de dos años de haber sido plantadas, fue de 76%. El mayor porcentaje de supervivencia, por sitio, se registró en la zona arbolada y el menor, en la zona agrícola. En el caso de las especies, se encontró que *Bauhinia variegata*, tuvo el mayor porcentaje de supervivencia, seguida de *Fraxinus uhdei* y *Pinus pseudostrobus* fue la especie que tuvo el menor porcentaje de supervivencia, de hecho en la zona agrícola sólo permanece un individuo vivo.

Tabla 2. Supervivencia y tasa de crecimiento relativo en altura y diámetro después de dos años en plantación. Abreviaciones: Nd = no determinado.

Sitio	TCR altura (año-1)	TCR diámetro (año-1)	Supervivencia %
Cárcava	0.0520.007	0.0180.01	85
Vegetación	0.0280.005	0.0320.00	89
Agrícola	0.0460.009	0.0790.01	49
Valor F	7.091***	13.718***	Nd
Especie			
<i>Fraxinus uhdei</i>	0.010.00	0.020.00	70
<i>Bauhinia variegata</i>	0.030.00	0.040.00	95
<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.270.01	0.110.01	37
Valor F	14.041***	6.083**	Nd

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Desde la perspectiva de propiciar el desarrollo de una vegetación protectora que permita conservar la fertilidad del suelo y la biodiversidad de la flora y la fauna, se introdujeron tres especies de plantas leñosas nativas con potencial de crecer en sitios con diversos niveles de degradación. En condiciones de pérdida extrema de suelo se requieren programas de restauración ecológica para optimar el establecimiento de cobertura vegetal y la protección del suelo. Un primer paso es seleccionar especies que puedan tolerar las condiciones de sitios degradados mediante ensayos de especies. (Gómez *et. al.* 2012). En nuestro estudio, se seleccionaron especies nativas con potencial de crecer en sitios perturbados como *Fraxinus uhdei*, de rápido y vigoroso crecimiento, el cual produce un efecto restaurador (CONABIO), *Pinus pseudostrobus* es una especie usada en programas de restauración tanto en Michoacán como en otros estados (CONAFOR) y *Bauhinia variegata* la cual es una especie



exótica, naturalizada en Michoacán, con características importantes para la formación de suelo debido a su capacidad para fijar nitrógeno.

La principal desventaja de la reforestación como técnica de recuperación de cubierta vegetal, radica en los bajos porcentajes de supervivencia de las plantas introducidas. La alta mortandad, de acuerdo con la SEMARNAP (2000), se debe principalmente a la mala elección de especies. En Michoacán, se ha calculado que después del primer año de plantación, la supervivencia pudo alcanzar porcentajes del 37.8% (Saenz y Lindig 2004). Nuestros resultados mostraron una supervivencia general del 76 por ciento y, de manera relevante en la zona de vegetación se encontró mayor supervivencia del 89 por ciento y del 85 por ciento en la zona agrícola; así mismo *Bauhinia variegata* fue la especie con mayor supervivencia (95%) y *Pinus pseudostrobus* tuvo menor supervivencia (37%), en especial en la zona agrícola, donde sólo permanece un individuo. Sin embargo, es importante hacer notar que los porcentajes fueron calculados de manera general y no proporcional, ya que el número de plantas introducidas fue diferente para cada especie.

Aproximadamente la mitad de la superficie del país (45.2 por ciento) tiene suelos afectados por algún tipo de degradación, ocasionado por cambio de uso de suelo hacia la agricultura y el sobrepastoreo (17.5 por ciento) y la deforestación (7.4 por ciento). En Michoacán, la microcuenca de Umécuaro ha sufrido cambio de uso de suelo de forestal a agrícola, en el que la degradación por erosión hídrica es evidente (Prat *et al.* 2007). Nuestro estudio mostró que la degradación de las parcelas corresponde con el cambio de uso de suelo descrito. Por otro lado, el análisis realizado sobre las características físicas y químicas estudiadas, mostró que la cantidad de materia orgánica en la zona de cárcavas fue muy bajo (1.37%) comparada con la región arbolada (5.43%), del mismo modo que la cantidad de fósforo se presentó en cantidades excesivas en la zona agrícola (57.21 ppm) y mínimas en la zona arbolada (13.62 ppm), de manera similar y aunque no hubo diferencias significativas en este parámetro, la cantidad de calcio fue muy elevada en la zona de cárcavas.

Considerando los resultados en conjunto, es posible concluir que la especie ideal para la recuperación de sitios perturbados como la zona de cárcavas, es *Pinus pseudostrobus*. La especie registró la mayor supervivencia y crecimiento en esta zona y en la arbolada, con alta mortandad en la zona agrícola, donde es posible que la compactación del suelo y la alta concentración de fósforo, limitara su supervivencia. Los niveles de destrucción de la cubierta vegetal, del suelo fértil y de la capacidad de regeneración de la vegetación nativa, marcarán la pauta sobre el origen y las características de las especies que podrán usarse para cada localidad ya que los ecosistemas son dinámicos. En el estudio realizado se eligieron especies con características morfológicas y funcionales distintas para ser evaluadas en su respuesta en distintas condiciones ecológicas.

5. AGRADECIMIENTOS

Al señor Javier Villa Villa por la facilidad que nos brindó para trabajar en parcelas de su propiedad.



A la Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el apoyo para realizar el proyecto “Reforestación de zonas degradadas por cambio de uso de suelo en la Sub-cuenca Umécuaro Loma Caliente”.

6. LITERATURA CITADA

- Bradshaw A.D. 2002. Introduction and philosophy. En: Perrow M.R. y Davy A.J. Eds. Handbook of Ecological Restoration, Volume 1: Principles of Restoration, pp. 3-9, Cambridge University Press, Cambridge.
- Caterina, M., P. Corona, E. Arreygue, V.H. *et al.* (2004). Estudio geológico-geomorfológico de la cuenca del Río Chiquito: Evidencias de erosión acelerada y de desertificación precoz. En: Garduño, V.H. (ed.), Contribuciones a la Geología e impacto ambiental de la región de Morelia. U.M.S.N.H., Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Morelia. pp. 116-136.
- CONAFOR 2010. La Visión de México sobre REDD+
- Diario Oficial de la Federación. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. 31 de diciembre de 2002. p. 1 – 72.
- Gómez, R. M., Soto C. J. C., Blanco A. Sáenz C. Villegas J. Lindig R. 2012. Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. Agrociencia 46 (8) 795-807.
- Hobbs, R. J. y Norton, D. A. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. Restoration Ecology 4: 93-110.
- López, E., M. Mendoza y G. Bocco (2004). Cambio de cobertura vegetal y uso de terreno en la ciudad de Morelia y sus alrededores. En: Garduño, V.H. (ed.), Contribuciones a la Geología e impacto ambiental de la región de Morelia. U.M.S.N.H., Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Morelia. pp. 106-115.
- Prat, C., Márquez, A. y Esteves, M. 2007. Estudio batimétrico de la presa de Cointzio y de Umécuaro. Resumen. Simposio, Acciones y Resultados para el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán.
- Saenz, R. C. y Lindig, C. R. 2004. Evaluación y propuesta para el programa de reforestación en Michoacán México. Ciencia Nicolaita 37, 107-122.
- Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, Programa Nacional de Reforestación. 2000. Evaluación de las reforestaciones 1999 en el Estado de Michoacán. Reporte interno. México. P 18.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Sexto Informe de Labores 2006, SAGARPA, México.



- Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Vázquez-Yanez C. y Batis A.I. 1996. La restauración de la vegetación, árboles exóticos vs. árboles nativos. Ciencias, 43.
- http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/53-oleac1m.pdf
- <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/981Pinus%20pseudostrobus.pdf>
- <http://www.arbolesornamentales.es/Bauhinia%20variegata.pdf>



Extenso ID: 309 Humberto Miguel Romero Uribe ^a, Robert Manson ^a, Isabelle Barois ^a y Bernardus de Jong ^b. CAMBIOS EN EL ALMACÉN DE C Y N TOTAL DEL SUELO A DIFERENTES PROFUNDIDADES Y DIFERENTES TIPOS DE USO DE SUELO, EN DOS SUBCUENCAS DEL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

^a Instituto de Ecología A.C., Carretera Antigua a Coatepec 351, Col. El Haya, CP 91070, Xalapa, Veracruz, email: hm_rour@hotmail.com

^b El Colegio de la Frontera Sur, Av. Rancho Polígono 2-A, Ciudad Industrial Lerma, C.P. 24500, Campeche, Campeche

RESUMEN

Los suelos juegan un papel clave en el ciclo del carbono (C), ya que tienen la capacidad de almacenar este elemento en mayores cantidades que las presentes en la vegetación y la atmósfera. Sin embargo, factores como el cambio de uso de suelo, han propiciado la pérdida de esta capacidad y la emisión de cantidades importantes de gases traza como CO₂, CH₄ y N₂O, los cuales favorecen el calentamiento global. Para fomentar estrategias de manejo sustentable de recursos naturales a nivel de cuenca que minimicen estos impactos hacen falta estudios de la variación en el contenido de C y nitrógeno (N) edáficos ya que los flujos y reservorios de estos elementos varían espacialmente. En este estudio estimamos el contenido de C y de N a diferentes profundidades del suelo, en ocho diferentes tipos de uso de suelo (bosques en tres estados sucesionales, dos intensidades de manejo de cafetales y pastizales y en cultivos de caña), en dos subcuencas del centro del estado de Veracruz. Tomamos muestras compuestas en cada uso de suelo hasta 1m de profundidad (en 6 diferentes estratos) y la determinación se realizó con un analizador de C/N por combustión seca. Se encontró que los usos de suelo con mayor contenido de C son los bosques maduros (1052 tC/ha) y los que menos tienen son los cultivos de caña (160 tC/ha). En el caso del N, los valores más altos se presentan en los pastizales extensivos (73.36 tN/ha) y los más bajos en los cultivos de caña (15.57 tN/ha). En todos los usos de suelo, las capas más superficiales presentan mayor contenido de C y N, el cual va decreciendo con la profundidad. La relación C:N fue más alta en bosque maduro (16.14) y la más baja en cafetal tecnificado (10.92). Con estos resultados se puede observar el efecto que tiene el cambio de uso de suelo en el contenido de C y N en las capas superficiales del suelo.

Palabras clave: carbono del suelo, nitrógeno del suelo, usos de suelo, flujos, reservorios

INTRODUCCIÓN

Los suelos proveen múltiples servicios ambientales como amortiguamiento y regulación del ciclo hidrológico, sustrato físico para las plantas, retención y provisión de nutrientes para las plantas,



recepción de desechos orgánicos e inorgánicos, renovación de la fertilidad del suelo y regulación de los ciclos biogeoquímicos mayores; como carbono (C) y nitrógeno (N) (Daily et al., 1997).

En el caso de los ciclos biogeoquímicos del C y N, se sabe que están estrechamente acoplados uno del otro donde los cambios en la disponibilidad de uno influenciarán no sólo la productividad biológica sino la disponibilidad y requerimientos para el otro elemento (Gruber y Galloway, 2008) y a largo plazo, la estructura y funcionamiento de los ecosistemas.

Los suelos juegan un papel sumamente importante en el ciclo del C (Ordoñez y Masera et al., 2001), y son considerados como un sumidero debido a la capacidad que tienen para almacenar este elemento en forma orgánica (1500 Pg a 1 m de profundidad) e inorgánica (1700 Pg), lo cual sobrepasa considerablemente la que presentan la vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) a nivel global (IGBP, 1998). La acumulación de carbono en el suelo es un proceso lento que depende de los factores relacionados con su formación, sin embargo, el C se puede perder rápidamente por los cambios en su uso y manejo (FAO, 2002). Las pérdidas de C edáfico se pueden dar por la conversión de ecosistemas naturales a sistemas agrícolas, debido a la reducción en los aportes de materia orgánica y la protección física del suelo lo que provoca erosión hídrica y eólica, y a la disminución de materiales no solubles en los residuos de cosecha (Tan y Lal, 2005).

Con respecto al N, se sabe que alrededor del 99% de este elemento combinado en el suelo se halla contenido en la materia orgánica. La mayor parte se encuentra en forma de grupos amino ($-NH_2$), y el resto combinado con carbono en estructuras cíclicas o en cadenas abiertas (Thompson y Troeh, 2002). Las actividades antrópicas como la agricultura y ganadería han aumentado el N al interior de los ecosistemas, generando pérdidas de aniones y cationes del suelo, procesos de acidificación e incremento en la salida de nitrógeno a los sistemas acuáticos (Baer et al., 2006).

Debido a que el suelo es naturalmente variable, y porque las influencias culturales en cuanto al manejo de las tierras varían geográficamente, los efectos en los flujos de carbono y nitrógeno varían espacialmente (Yu et al., 2012). De esta manera, las capas más profundas del suelo (reservorios) reflejan los componentes estáticos del sistema, y las capas superficiales (flujos) son responsables de su dinámica. Por lo que, si investigamos los reservorios, es necesario analizar cambios en el largo plazo, lo que provee una idea de la alteración de un ecosistema. En contraste, los flujos tienen una respuesta rápida a cambios a las condiciones ambientales o de uso de suelo. Por lo tanto, al medir los flujos en el largo plazo no reflejan los cambios del ecosistema, porque son altamente variables dependiendo de varios factores tanto bióticos como abióticos (Batjes, 1996; FAO, 2001; Kuzyakov, 2011).

Todo esto cobra importancia debido a que la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) como el CO_2 , el CH_4 y el N_2O en la atmósfera ha aumentado considerablemente desde la era pre-industrial, debido al uso de combustibles fósiles como fuente de energía y al cambio de uso de suelo, en particular hacia agricultura, lo que ha favorecido el calentamiento global (Ortiz et al., 2008; IPCC, 2014). Por esta razón, se ha identificado como una línea necesaria de acción, la mitigación del incremento de estos gases a través del aumento de reservorios y también reducción de emisiones (Phillips et al., 1998).

En este sentido, es importante realizar estudios a escala regional sobre los efectos en el contenido de carbono y nitrógeno, derivados de los cambios de uso del suelo.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el contenido de carbono y de nitrógeno en el suelo, en sitios con diferente tipo de uso de suelo, diferentes intensidades de uso y a diferentes profundidades, en el centro del estado de Veracruz, México. Este trabajo forma parte de un proyecto en el que se evaluarán los impactos de los programas de pago por servicios hidrológicos (PSH) sobre sistemas socio-ecohidrológicos en México, el cual es financiado por la National Science Foundation y cuyo objetivo a largo plazo es el de avanzar en la comprensión científica de los vínculos entre las políticas de PSH y los sistemas socio-ecohidrológicos a través de investigación ecohidrológica y socioeconómica y análisis participativo con diversos actores sociales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en y alrededor las microcuencas del Río Pixquiac y del Río Gavilanes en la cuenca La Antigua en el centro del estado de Veracruz (Figura 1). Estas microcuencas fueron seleccionadas por el proyecto NSF debido a su historia de PHS. Además, presentan características biofísicas y climáticas similares (clima templado húmedo con temperaturas promedio de entre 12 y 18°C y una precipitación media anual entre 2000 y 3000 mm) así como tipos de uso de suelo similares.

Para la selección de puntos de muestreo se tomaron en cuenta factores topográficos similares (altitud, pendiente, orientación), así como tipo de suelo y tipo de uso de suelo.

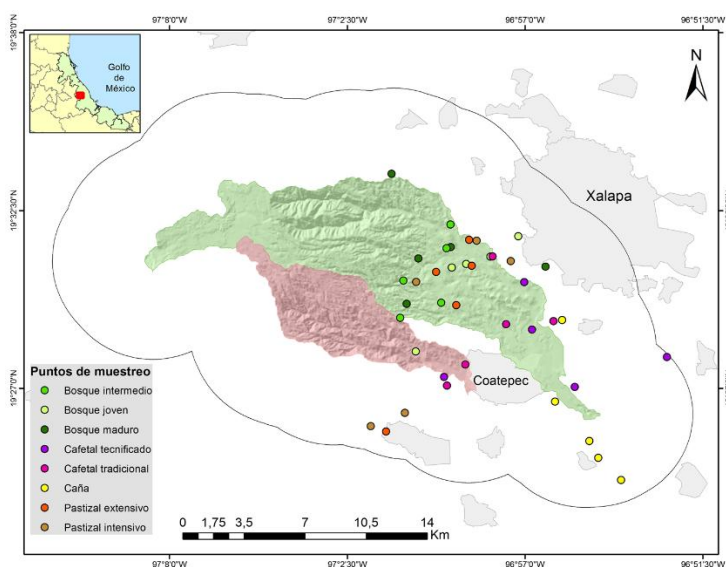


Figura 1. Localización del área de estudio y puntos de muestreo.

Muestreo de suelo

El muestreo de suelo se realizó en ocho usos de suelo (con cinco replicas para cada uno): bosque mesófilo de montaña en diferentes estados sucesionales (bosque maduro (BM), intermedio (BI) y joven (BJ)), cafetales con diferente intensidad de manejo (tradicional (CT) y tecnificado (CI)), pastizales con diferente intensidad de manejo (extensivo (PE) e intensivo (PI)) y cultivos de caña (CA)). En cada sitio se tomaron muestras con repeticiones (3) a diferentes profundidades (suelo orgánico (HO), 0-5, 5-15, 15-30, 30-60 y 60-100 cm) (Figura 2 y 3).

Se utilizaron parcelas circulares de 11m de radio, una por cada tipo de uso de suelo. Dentro de cada parcela se tomó una muestra en tres puntos. El punto 1 se localizó a 7 m hacia el norte del centro de la parcela (0°), y los puntos 2 y 3 se localizaron a 120° de cada uno, es decir, el punto 1 en 0° N, el 2 a 120° del punto central y el 3 a 240° (Figura 2).

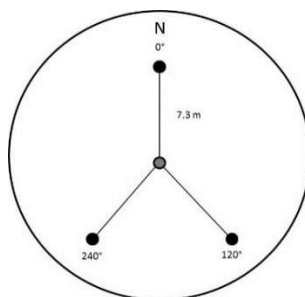


Figura 2. Unidad de muestreo.

Para cada una de los tres puntos dentro de la parcela, se tomó una muestra de superficie del suelo, tomando por separado una muestra de hojarasca y una de la capa orgánica del suelo y midiendo la profundidad de cada una.

Las muestras de suelo se colectaron en el mismo lugar que la muestra de la superficie del suelo y se tomaron a diferentes profundidades 0-5, 5-15, 15-30, 30-50, 50-100 cm usando una barrena de media caña de 1m de largo y 3 cm de diámetro (Figura 3).

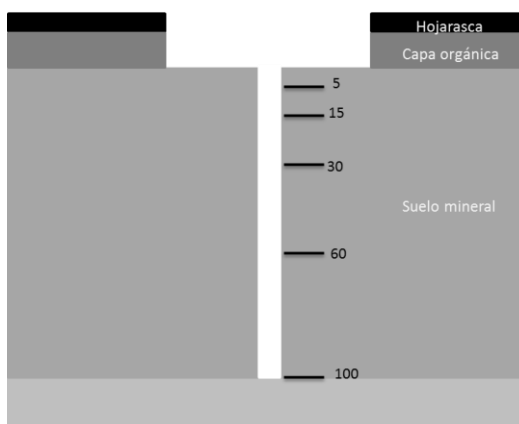




Figura 3. Muestreo de suelo

Se tomaron tres muestras por cada uso de suelo y cada profundidad y en cada replica teniendo en total 720 muestras individuales para la determinación de textura y densidad aparente y para la determinación de carbono y nitrógeno 240 muestras compuestas.

Todas las muestras se depositaron en bolsas de plástico, se rotularon y transportaron al laboratorio de suelos del INECOL donde se prepararon para los análisis.

Análisis fisicoquímicos

Los análisis químicos y físicos están apegados a la norma NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) y se realizan con las muestras individuales para densidad aparente y textura y muestras compuestas para carbono y nitrógeno, obtenidas en cada uso de suelo y para cada incremento de profundidad. La densidad aparente se calculó mediante el método del terrón parafinado; la textura se determinó mediante el método de Bouyoucos y la determinación del contenido de carbono y nitrógeno del suelo se realizó con un analizador de C/N por combustión seca, mediante el método LECO®/DUMAS (Nelson y Sommers, 1996).

Los contenidos de carbono y nitrógeno en el suelo en toneladas de carbono por hectárea (tC/ha) se calcularon a partir de los valores de %C y %N, densidad aparente y profundidad del muestreo de la siguiente manera:

$$\text{Carbono en suelo (tC/ha)} = \%C * DA * P$$

$$\text{Nitrógeno en suelo (tN/ha)} = \%N * DA * P$$

Donde: %C = Porcentaje de carbono; %N = Porcentaje de nitrógeno; DA = Densidad Aparente (g/cm³); y P = Profundidad de muestreo (cm).

RESULTADOS

C y N a 1 m de profundidad en diferentes usos de suelo

Se encontró que el uso de suelo con mayor contenido de C y N es el BM con 1052.6 t C/ha y 64.02 t N/ha, seguido por el PE con 923.65 t C/ha y 73.36 t N/ha, los CI y los CA fueron los más bajos con 241 y 160 tC/ha y 23.78 y 15.57 tN/ha respectivamente (Figura 4).

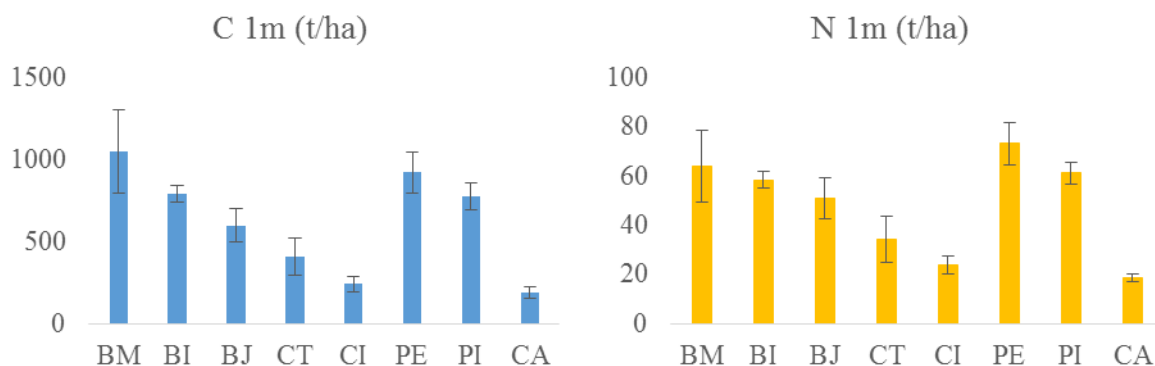


Figura 4. Almacén de C y N total (t/ha) (0-100cm).

De igual forma, la relación C:N fue más alta en los bosques (16.14 en BM y 13.58 en BI), seguidos por los pastizales (12.37 en PI y 12.30 en PE). La más baja se encontró en CI (10.92) (Figura 5).

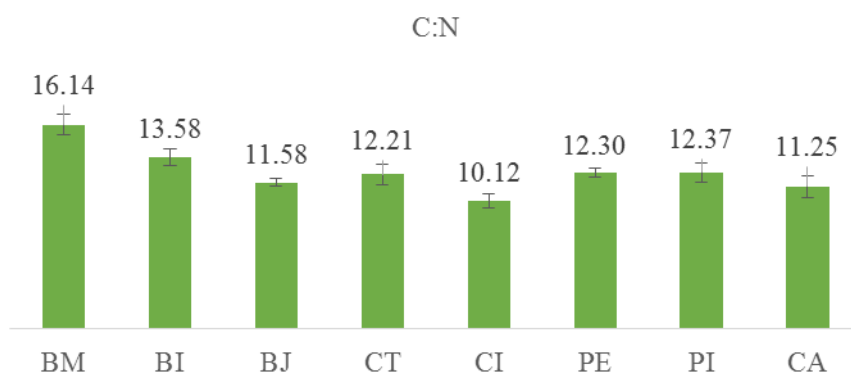


Figura 5. Relación C:N en los diferentes usos de suelo

Carbono y Nitrógeno a diferentes profundidades

El contenido de C y N en los diferentes usos de suelo va disminuyendo con la profundidad, es decir, las capas más superficiales (HO, 0-5, 5-15, 15-30 cm), que son las más susceptibles a alteraciones derivadas de cambios de uso de suelo, contienen mayor contenido tanto de C como de N que las capas más profundas (Figura 6), esto es más evidente en usos de suelo como los bosques o los cafetales a diferencia de los pastizales, en donde no se observan diferencias grandes en las capas superficiales.

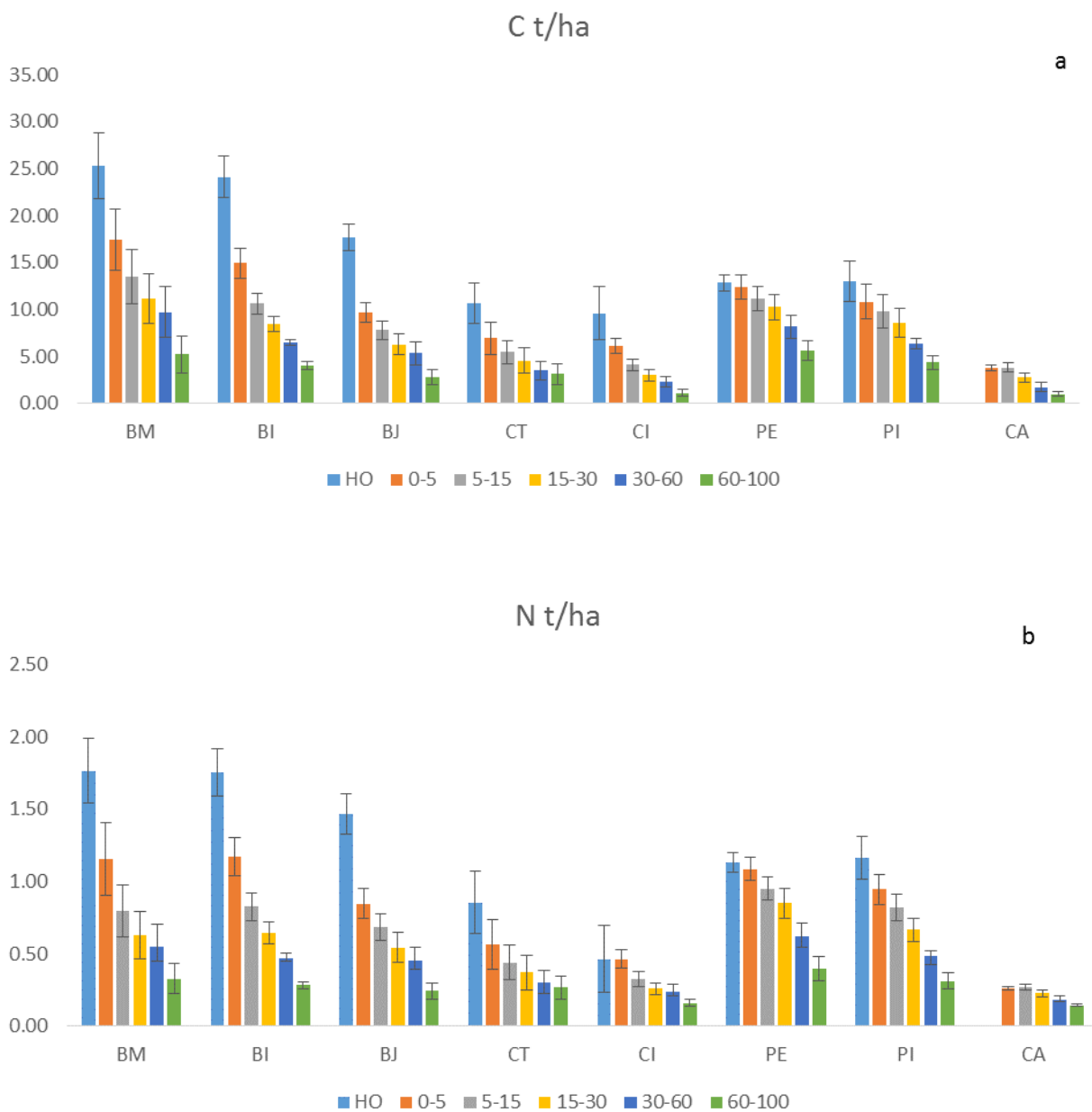


Figura 6. Contenido de C (a) y N (b) total (t/ha) por uso de suelo y a diferentes profundidades.

Densidad aparente en los diferentes usos de suelo

La densidad aparente del suelo fue más alta en cafetales tecnificados y cultivos de caña (Figura 7).

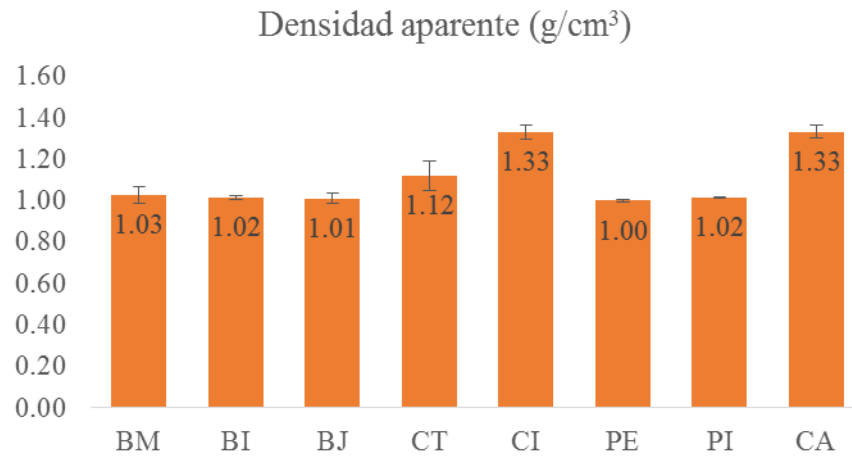


Figura 7. Densidad aparente del suelo en los diferentes usos de suelo.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En general, los bosques presentaron mayor contenido de C y N, seguidos por los pastizales, los cafetales y por último los cultivos de caña. Esto concuerda con otros estudios (McGrath et al 2001, Leite de Moraes et al., 2002, Hugher et al. 2002) en donde los bosques y los pastizales presentan altos contenidos de C y N en el suelo a diferencia de los cultivos.

En el caso de los bosques, se puede observar que el contenido tanto de C como de N varía dependiendo del estado sucesional en el que se encuentran, los BM presentan valores más altos que BI y BJ. En los cafetales no se ve diferencia entre el CT y el CI, al igual que en los pastizales (PE y PI). Resalta el caso de los cultivos de caña, que fueron los que presentaron valores muy bajos con respecto a los otros usos de suelo, esto por el manejo intensivo que se le da a este tipo de cultivos.

Con estos resultados se puede observar el efecto que tiene el cambio de uso de suelo afectando principalmente el contenido de C y N en las capas superficiales del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se llevó a cabo gracias al financiamiento otorgado por la National Science Foundation, dentro del proyecto “CNH: Experimental frameworks for evaluating net effects of hydrologic service payments on coupled social-ecohydrological systems” con número 1313804. Agradecemos también al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) y al Instituto de Ecología A.C. (INECOL) por la beca otorgada al primer autor. A Juan José Von Thaden por su valiosa colaboración durante el proyecto.



LITERATURA CITADA

- Baer S.G., Church J.M., Williard K.W.J, Groninger J.W. 2006. Changes in intrasystem N cycling from N₂-fixing shrub encroachment in grassland: multiple positive feedbacks. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 115: 174-182
- Batjes N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of soil science*. 47: 151-163
- Daily G.C., Matson D.A, Vitousek P.M. 1997. Ecosystem services supplied by soil. En: Daily GC ed. *Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press. USA pp 113-132
- FAO 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. *World Soil Resources Reports*. ISSN 0532-0488
- FAO 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. *Informes sobre recursos mundiales de suelos*. ISBN 92-5-304690-2
- Gruber N, Galloway J.N. 2008. An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*, 451: 293-296
- Hughes R.F, Kauffman J.B, Cummings D.L 2002. Dynamics of aboveground and soil carbon and nitrogen stocks and cycling of available nitrogen along a land-use gradient in Rondonia, Brazil. *Ecosystems* 5:244-259
- IGBP. The International Geosphere-Biosphere Programme 1998. The terrestrial carbon cycle: implications for the Kyoto Protocol. *Science* 280: 1393-1394
- IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- McGrath D.A, Smith C.K., Gholz H.L, Oliveira F. 2001. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazônia. *Ecosystems* 4: 625-645
- Moraes J. F., Neill C., Volkoff B., Cerri C.C., Melillo J., Costa Lima V., Steudler P.A 2002. Soil carbon and nitrogen stocks following forest conversion to pasture in the Western Amazon Basin. *Acta Scientiarum*. Maringá. v 24, n 5 p. 1369-1376.
- Nelson, D.W., Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In: D.L. Sparks et al. (eds.) *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. SSSA, Madison, WI.
- Ortiz R, Sayre K.D., Govaerts B, Gupta R, Subbarau G.V., Ban T, Hodson D, Dixon J.M, Ortiz-Monasterio J, Reynolds M. 2008. Climate change. Can wheat beat the heat?. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 126: 46-58
- Phillips, O. L., Malhi N. Y., Higuchi P., Núñez V, Vazquez R.M. Laurence S., Ferreira L.V., Stern M., Brown S., Grace J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forest; evidence from long term plots. *Science* 282: 439-442
- Tan Z.X, Lal R. 2005. Carbon sequestration potential with changes in land use and management in Ohio. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 111: 140-152
- Thompson L.M., Troeh F.R. 2002. *Los suelos y su fertilidad*. 4th Ed. Editorial Reverté, Barcelona, España
- Yu B., Stott P, Di X.Y., Yu H.X. 2012. Assessment of land cover changes and their effect on soil organic carbon and soil total nitrogen in Daqing Prefecture, China. *Land Degradation and Development*.



Extenso ID: 131. José Mariscal Romero ¹, José Alfonso Valdez Cruz ² y Judith Arciniega Flores ³. CUENCAS DE LA BAHÍA DE NAVIDAD, JALISCO: IMPACTOS E INUNDACIONES DE JOVA 2011 Y PATRICIA 2015

[Regresar al índice](#)

1:mariscal@costera.melaque.udg.mx CUCSUR-Universidad de Guadalajara, Departamento de Estudios P/Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras, Gómez Farías 82, San Patricio-Melaque, Jal. C. P. 48980, Tel. 315-355-6330 2:Valdez.cruz23@gmail.com 3:jarcinie@costera.melaque.udg.mx

1 RESUMEN

El Pedregal-San Patricio y El Organito-El Tule son dos pequeñas cuencas hidrográficas costeras colindantes que desfogan sus aguas en la Bahía Navidad, Jalisco. Tienen una superficie de 117 y 48 Km² respectivamente, la mayor parte comprendida en el municipio de Cihuatlán, y una pequeña porción de El Pedregal corresponde a La Huerta, Jalisco. Pertenecen a región hidrológica 15 en la sección comprendida entre los ríos Purificación y Chacala (Ac) ambas conforman parte del acuífero Cihuatlán. Sus características biofísicas: relieve, tipos de suelos, densidad hidrográfica, tiempo de concentración, entre otros, además de su deterioro ambiental: alta fragmentación de la vegetación original a nivel relictual, baja cobertura vegetal, anarquía respecto de los cambios de uso del suelo (sustituciones y conversiones desordenados), como consecuencia de malas prácticas en la mayoría de las actividades humanas, son algunos de los factores que han contribuido a potenciar/mitigar los impactos ecológicos y socio-económicos. El presente trabajo tiene como objetivos: describir de manera comparativa los impactos generados por los meteoros de alto impacto: Jova 2011, Manuel 2012 y Patricia 2015 en las cuencas mencionadas, describir los efectos sobre las zonas urbanas y agrícolas inundadas y establecer las relaciones precipitación/escurremientos.

Palabras clave: Eco-hidrología, Inundaciones, Ciclones, Jalisco, Pedregal

2 INTRODUCCION

En los últimos años, las zonas costeras de Jalisco y Colima cuya precipitación se relaciona con el paso y temporada de huracanes se han visto impactadas cada vez con más frecuencia y severidad por los: ciclones Jova, Manuel y una tormenta posterior al impacto de Patricia ocurridos entre el 11-12 de octubre el primero, 13-20 de septiembre la segunda y el 27 de octubre la tercera, en 2011, 2013 y 2015 respectivamente. Estos tres eventos, han sido de los meteoros de más alto impacto ecológico por los efectos, inundaciones, erosión hídrica, movimientos en masa y cantidades de sedimento que generaron en las cuencas costeras de Jalisco y Colima.

Las inundaciones son un fenómeno natural potencialmente destructivo que se caracteriza por presentar una cierta probabilidad de ocurrencia; dentro de un período de tiempo específico; y en una localidad específica. En las latitudes tropicales, estas se relacionan con factores climáticos, es decir meteorológicos, como la precipitación excesiva, de alta intensidad y duración (torrencial) asociadas y generadas por los temporales ciclónicos (Salas-Salinas y Jiménez-Espinosa, 2013).

Por otro lado, los efectos de estos fenómenos meteorológicos extremos y cada vez más frecuentes, se han visto sinérgicamente potenciados durante las últimas décadas, por el deterioro ambiental local de las cuencas, las presiones antropogénicas resultado de las malas prácticas del desarrollo urbano, agropecuario, turístico, mal entendido y sin planeación (MEA 2005). Estas acciones, han deteriorado todos los ecosistemas costeros en Jalisco, particularmente en la Bahía de Navidad que es la segunda

zona urbana del litoral jalisciense (Mariscal-Romero *et al.*, 2014) e impactando las condiciones ecológicas originales al disminuir y/o alterar los servicios ambientales de regulación hidrológica, (precipitación, escurrimiento, evapotranspiración, infiltración) que presta la vegetación dentro de las tres pequeñas cuencas que en ella desembocan (MEA 2005; Holland *et al.*, 2011).

Ambos fenómenos, eventos meteorológicos extremos y mala calidad de los servicios ambientales, generan efectos sinérgicos (en cascada) por ejemplo, deforestación-erosión de suelos-transporte y sedimentación-colmatación de cauces azolvamiento y contaminación de cuerpos de agua-eutrofización marina, que se acentúan y facilitan durante este tipo de eventos, pudiendo afectar vidas humanas, causan pérdidas materiales, económicas y de infraestructura y contribuyen al calentamiento global (MEA 2005; Wood *et al.*, 2008; IPCC, 2014). Este trabajo tiene como objetivos: describir de manera comparativa los impactos generados por los meteoros de alto impacto: Jova 2011, Manuel 2013 y Patricia 2015 en las cuencas mencionadas, describir los efectos sobre las zonas urbanas y agrícolas inundadas y establecer las relaciones precipitación/escurrimientos en la cuenca El Pedregal.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El Pedregal-San Patricio y El Organito-El Tule son dos cuencas hidrográficas costeras colindantes que desfogon sus aguas en la Bahía Navidad, Jalisco. Tienen una superficie de aproximadamente 117 y 48 Km² respectivamente, la mayor parte comprendida en el municipio de Cihuatlán, y una pequeña porción de El Pedregal corresponde a La Huerta Jalisco (Chávez-González, 2008; Mariscal-Romero *et al.*, 2014) (Figura 1). Pertenecen a región hidrológica 15 en la sección comprendida entre los ríos Purificación y Chacala (Ac) ambas conforman parte del acuífero Cihuatlán (CNA).

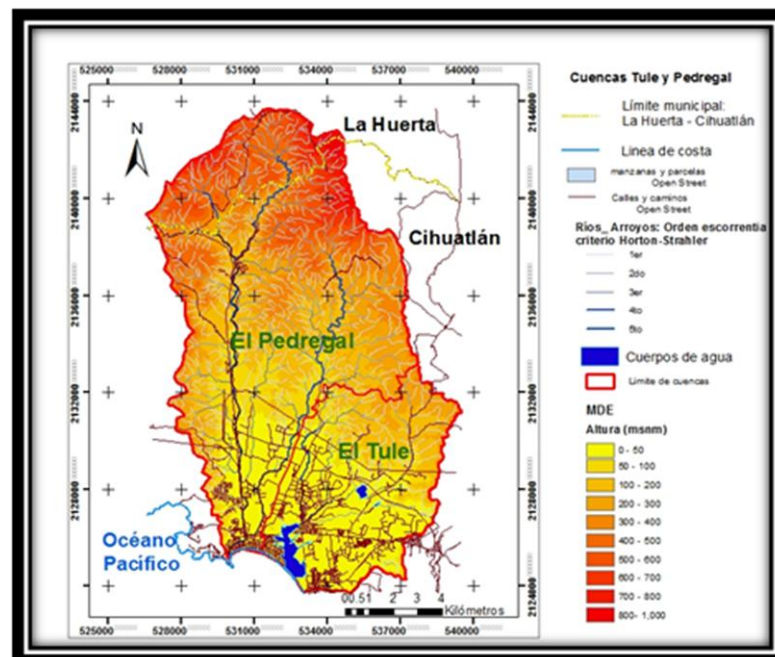


Figura 2 Bahía de Navidad: Cuencas El Pedregal-San Patricio y El Organito-El Tule

Como primer intento de dimensionar el valor de precipitación que aporta la escorrentía superficial (Q) de acuerdo con el método del número de curva de escurrimiento (NC) (Chow *et al.*, 1994; Alonso-Sánchez *et al.*, 2014) se determinó este valor adimensional para cada microcuenca en la cuenca del arroyo El Pedregal que se considera aportó a la creciente que desahogó sus aguas en la Bahía de

Navidad durante los dos eventos analizado (Patricia y Post-Patricia). las microcuencas fueron delimitadas con QGIS tomando como referencia las curvas de nivel producidas a partir del modelo digital de elevaciones (CEM 3.0 de INEGI) (Figura 2). El método de número de curva de escurrimiento, considera algunos de los principales factores que influyen en las escorrentías superficiales: condición de humedad antecedente, considerada de tipo II para las tormentas analizadas; tipo de suelo hidrológico A, B, C o D, según el Hydrology National Engineering Handbook (USDA) tomando de referencia la información vectorial sobre edafología del INEGI; cobertura vegetal y usos de suelo así como su tratamiento, fue necesario crear una capa de información vectorial de cobertura vegetal y usos de suelo tomando de referencia los polígonos disponibles en escala 1:250,000 serie V del INEGI, una imagen satelital del 24 de octubre del 2015 y supervisión en campo. Una vez asignados los números de curva para la condición de humedad antecedente de tipo II para cada micro cuenca se procedió a recalculer considerando el valor fraccional de la pendiente como sugiere la documentación teórica del software SWAT (Neitsch *et al.*, 2011, en Alonso-Sánchez *et al.*, 2014). Con el valor de NC se puede calcular la retención potencial máxima en mm o S , y asumiendo la proporción entre la abstracción inicial, I_a y S ($I_a=0.2S$), Q se puede determinar con la siguiente expresión $Q=[(P-0.2S)^2/(P+0.8S)]$ donde P es la precipitación de la tormenta en mm.

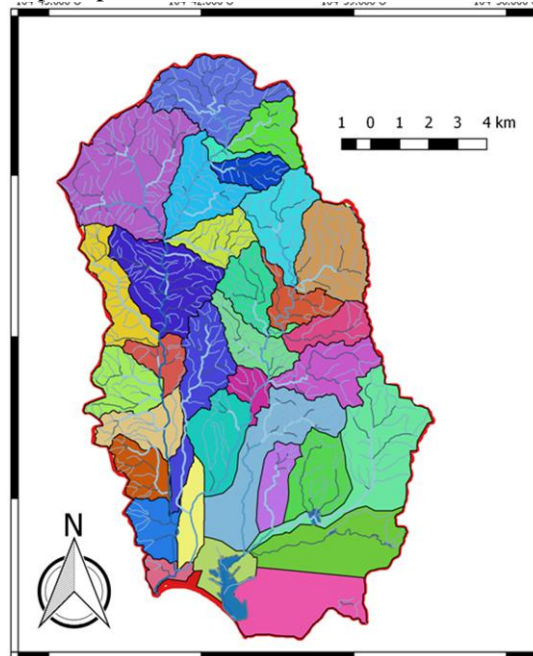


Figura 3 Microcuencas de Bahía de Navidad

3 RESULTADOS

El análisis de los datos históricos de precipitación de la estación Cihuatlán de 1961-2014, registran una precipitación máxima total de 2,614 mm, con una mínima de 444 mm, para el año 2001, y promedio de 1,310 mm para todo el período de observación (62 años). La temperatura media es de 22.7 °C en el mismo periodo. El promedio mínimo de evaporación registrado fue de 1,627 mm en 1994, el promedio general de todo el período fue de 1,816 mm y máximo anual de evaporación ascendió a 2,004 mm en 1978. Por otro lado, la precipitación en la zona se relaciona con la presencia de ciclones y tormentas tropicales, ya que estos eventos son muy importantes en la generación de la misma en la región, desafortunadamente es una zona con alta incidencia de meteoros extremos se generan eventos también los daños que sufre la población son severos (Bullock, 1986; De Ita-Martínez y Barradas, 1986; Huerto-Delgadillo, 2001), por lo que en la zona de estudio no es muy regular en el tiempo, ya que los factores que determinan la incidencia de huracanes son erráticos y entonces el patrón de lluvias en la costa de Jalisco se vuelve aleatorio (Bullock, 1986; De Ita-Martínez y Barradas, 1986; García-Oliva *et*



al., 1991). La temporada de ocurrencia de ciclones, huracanes y tormentas comprende los meses de mayo a diciembre, la forma en que se presentan no es uniforme a lo largo de la temporada y van aumentando en frecuencia conforme pasa la temporada. En el cuadro 1 se presenta la ocurrencia de ciclones de 1970 a 2014, (44 años) en la zona del Pacífico Mexicano (Pacífico Oriental)

Cuadro 1 Ocurrencia de ciclones en el pacífico (modificado de Huerto-Delgadillo, 2001, con datos de UNISYS)

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Número de eventos	14	63	120	138	128	72	15	1

Una síntesis de la tabla a nivel regional, Jalisco, Colima y Michoacán, muestra que la región registra una ocurrencia de 14.9 eventos ciclónicos de la zona ciclógena del Pacífico Oriental, el 8.4% de estos pasa por la región y el número de ciclones que se espera que incidan es de 1.25 eventos por año (Bullock, 1986; Huerto-Delgadillo, 2001). En el Océano Pacífico siguen una trayectoria “regular” hacia el Noroeste, aunque algunos llegan a desviarse hacia la plataforma continental. Cuando un ciclón de estas características se desplaza próximo a las zonas costeras o penetra en tierra firme, puede dejar secuelas de víctimas y destrucción en función del ámbito costero de densidad de población, sobre todo cuando se generan: marea de tempestad con olas de hasta 6m de altura; vientos superiores a los 120 km/h con ráfagas de hasta 360 km/h; oleaje intenso, lluvias superiores a 250 mm en un área circular de 50 km de diámetro, desbordamiento de ríos e inundaciones (Domínguez-Walle y Morales, 2015).

Cuadro 2 Últimos huracanes y tormentas más severos en la Costa de Jalisco (Modificado de Mariscal Romero et al 2014., con información de SMN-CNA y UNISYS)

Nombre	Fecha	Categoría	PP (mm)	Viento (Km/h)	Distancia/referencia
Greg	Sept 5-9 1999	I	430	120	===
Juliette	Sept 21-Oct 02 2001	IV	99	230 a 285	230 Km SSo Cabo Corr Jal.
Kena	Oct 23-25 2002	V	89	260 a 315	425 Km SO Cabo Corr Jal.
John	Ago 28-Sept 4 2006	III	212	205	150 Km O Manzanillo, Col.
Henriette	Ago 30-Sept 6 2007	III-IV	303	110 a 148	240 Km O Cihuatlán
Jova	Oct 6-13 2011	II-III	338	203	La Huerta Cihuatlán Manzanillo
Manuel	Sept 26-29 2013	TT-I	155	120	Costa Pacífico Central Gro-Sinaloa
Post-Patricia	Oct 21-27 2015	FF-20	144	???	La Huerta Cihuatlán Manzanillo

El cuadro 2 muestra una selección de los últimos eventos meteorológicos más severos, con excepción de Juliette y Kena, los cuales fueron puestos como referencia de registros que a pesar de su severidad no generaron inundaciones en la área, corresponde también al registro histórico de los eventos observados que han inundado al menos las áreas urbanas de las cuencas en la Bahía de Navidad (Mariscal- Romero *et al.*, 2014).

Por otro lado, el análisis de estos ocho eventos que han ocurrido durante un periodo de 15 años, de los cuales seis han tenido como consecuencia una inundación documentada, revela que en la bahía ocurre al menos un evento de inundación cada 2.5 años. La figura 3 muestra las curvas acumuladas de precipitación en relación de los días de duración de la lluvia, durante seis eventos que superaron los 125 mm han producido los mencionados eventos de inundación.

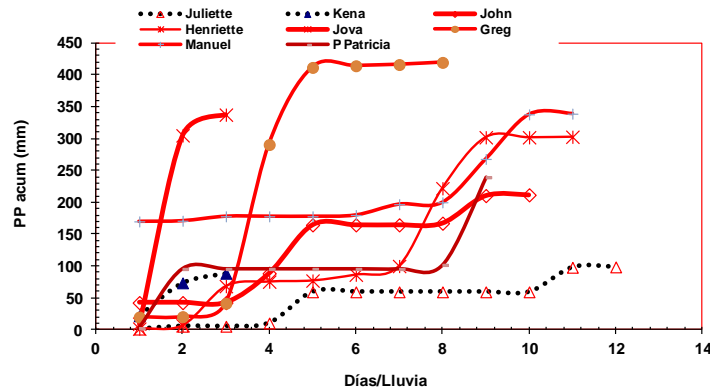


Figura 4 Últimos huracanes y tormentas más severos en la costa de Jalisco (Modificado de Mariscal Romero et al., 2014: con datos de SMN-CNA y UNYSIS)

A continuación se presenta una reseña de los últimos eventos hidro-meteorológicos objeto de este estudio. El ciclón “JOVA”, tocó tierra en las costas de Manzanillo, Cihuatlán, La Huerta (en Colima y Jalisco), el 12 de octubre de 2011 a las 20:30 horas entre las categorías II-III (Saffir-Simpson), disipándose el día posterior alrededor de las 16 horas (Brennan, 2012; SMN-CNA, 2011). De acuerdo con los registros de la CNA, la precipitación pluvial acumulada promedio en octubre de la zona, es de entre 50 a 100 mm mientras que en 2011 llegó a 335 en solo un evento de tormenta (SMN-CNA, 2011).

La lámina de precipitación ocasionó daños importantes en las obras de infraestructura en las cuencas de la Bahía de Navidad, puentes I y II del libramiento Melaque y las obras de protección sobre el cauce y la presa de Arroyo El Pedregal fueron rebasados, dando lugar al desbordamiento de ambos arroyos, El Pedregal sus afluentes y El Organito. Inundó también zonas: urbano-turísticas, y agrícolas de San Patricio-Melaque, Jaluco y Villa Obregón (Figura 4), de acuerdo con el cuadro 3 cubrió tres polígonos: Pedregal-La Paz 326 ha, El Barro-Jaluco 634 ha y Organito-Lindero 1,508 ha dando un área total de 2,468 ha.

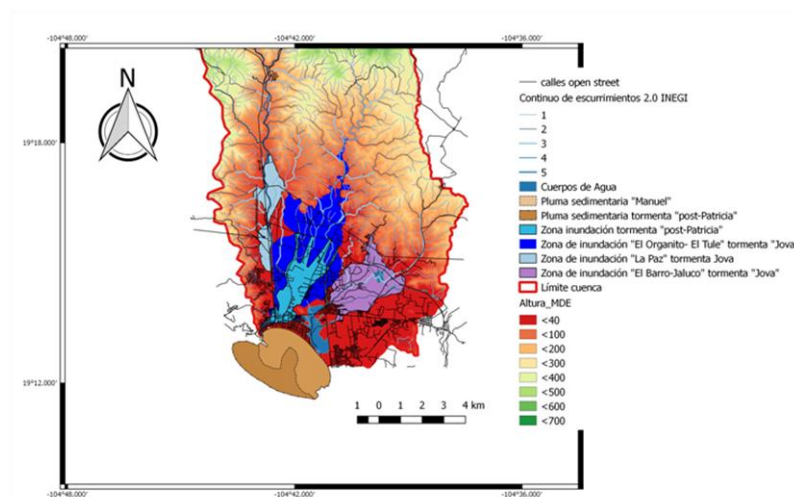


Figura 5 Áreas de inundación registradas durante los tres últimos eventos de inundación: Jova 2011, Manuel 2013 y Post-Patricia 2015

También, el desbordamiento del río Marabasco, con 122 km de longitud, cuyo flujo varía de 0.1 m³s⁻¹ en secas a 780 m³s⁻¹ en huracanes, la tormenta ocasionó que el Marabasco transportara 5,000 (m³ seg⁻¹) (cinco millones de litros x segundo) de agua y sedimentos, los aludes sobre la zonas urbanas de la

cabecera municipal de Cihuatlán y en las bahías: Manzanillo, Colima, y de Navidad, La Manzanilla-Tenacatita y Chamela en Jalisco, en las cuales se observó el efecto en la erosión de las playas y en razón de la generación de las plumas sedimentarias de las cuales no se pudo determinar su extensión particular (Figura 4).

Cuadro 3 Extensiones de las áreas de inundación y plumas sedimentarias de la Bahía de Navidad

Tormenta/Huracán	Áreas de inundación		Plumas sedimentarias	
	Perímetro km	Superficie Ha	Perímetro km	Superficie Ha
Pedregal-La Paz	12.9	326	---	---
Barro-Jaluco	18.4	634	---	---
Organito-Lindero	33.6	1508	---	---
Jova total	64.9	2468	---	---
Manuel	22.3	458	14.3	529
Post Patricia	22.3	458	14.6	938

“MANUEL” fue estacionario y bordeó incierta y variablemente toda la costa del pacífico, se formó en las cercanías de Zihuatanejo en Guerrero y tocó tierra entre Cihuatlán y Manzanillo, el 15 de septiembre de 2013 se intensificó y alcanzó la categoría I (Saffir-Simpson) se disipó hasta el 19 de septiembre en Mocorito, Sinaloa (SMN-CNA 2013). La lámina de precipitación ocasionó el desbordamiento de ambos arroyos, El Pedregal y sus afluentes y El Organito-Jaluco. También, la tormenta inundó las zonas urbanas, turísticas y agrícolas, de San Patricio-Melaque, Jaluco y Villa Obregón, mientras que la crecida del Arroyo Seco inundó igual las zonas agrícolas y una buena parte de la urbana en Barra de Navidad, una zona de 458 ha. Los aludes sobre la zonas urbanas de la cabecera municipal de Cihuatlán y en las bahías: Manzanillo, Colima, y de Navidad, La Manzanilla-Tenacatita y Chamela en Jalisco, en las cuales también se observó el efecto en la erosión de la playas por el oleaje y en razón de la generación de las plumas sedimentarias de 524 ha por los caudales extraordinarios (Cuadro 3). Los efectos severos de este evento se experimentaron principalmente en Guerrero pero abarcaron todas las cuencas costeras desde Oaxaca hasta Sinaloa (Figura 4).

“PATRICIA”, A las 23:15 UTC del 23 de octubre de 2015, Patricia tocó tierra entre las Bahías de Tenacatita y Navidad, donde ubica El Estrecho, La Manzanilla en las costas de La Huerta y Cihuatlán, Jalisco, entre las categorías IV-V (Saffir-Simpson), se disipó el día siguiente a las 16 horas (NHC 2015; SMN-CNA 2015), con vientos sostenidos de 265 km/h y una presión mínima de 920 hPa. Es el primer huracán en impactar a la costa del Pacífico mexicano como categoría V desde 1959; se debilitó rápidamente durante el 24 de octubre mientras atravesaba la Sierra Madre y su ojo desapareció de las imágenes de satélite pocas horas después del contacto con tierra. La tormenta aceleró tierra adentro formando una vaguada en las cuencas de esta Sierra, en el noroeste mexicano y la cresta subtropical sobre el golfo de México. La precipitación pluvial local acumulada por Patricia fue muy poca 95.4 mm en 21 horas, sin embargo un evento posterior Post- Patricia que combinó los remanentes con el frente frío 20 de la temporada, generó una tormenta local con una intensa precipitación de 144 mm en solo un evento de tormenta con una duración de 18 horas.

En el cuadro 4, se presentan las estimaciones de las láminas de precipitación calculadas por el método del número de curva para ambos eventos para las microcuencas consideradas. La lámina de precipitación para la primera tormenta generada por Patricia con una lamina de precipitación efectiva de 5'124,913 m³, no fue causa de inundaciones solo encharcamientos, mientras que la tormenta posterior a Patricia (Post-Patricia), con una lamina de 9'706,947 m³ ocasionó el desbordamiento de

ambos arroyos El Pedregal y sus afluentes y El Organito-Jaluco e inundó las zonas: urbanas, turísticas, y agrícolas de San Patricio-Melaque (Cuadro 4), en Jaluco y Villa Obregón, mientras que la crecida del Arroyo Seco. Manuel inundó las mismas zonas agrícolas y una buena parte de la urbana en Bahía de Navidad sobre una extensión de 458 ha (Cuadro 3). Los efectos locales de la tormenta posterior fueron de aludes sobre la zonas urbanas de la cabecera municipal de Cihuatlán y en las bahías: Manzanillo, Colima, y de Navidad, La Manzanilla-Tenacatita y Chamela en Jalisco, en las cuales se observó el efecto en la erosión de las playas y en razón de la generación de las plumas sedimentarias, esta pluma en la Bahía de Navidad tuvo una extensión de 938 ha (Figura 4).

En la figura 5 se pueden comprobar diferencias destacables en la asignación de cobertura vegetal y usos de suelo entre la capa de información del INEGI y la generada a partir de la imagen satelital de 2015 para asignar los números de curva de escurrimiento. La cobertura vegetal original selvas baja, mediana y bosques de encino han sido reducidas a un nivel relictual, mientras que la distribución espacial de las clases: selva seca como vegetación secundaria y las tierras agrícolas (agrosistemas) evidencian una desordenada fragmentación por pastizales en terrenos cerriles de pendientes pronunciadas y la predominancia del establecimiento de zonas urbanas en la planicie de inundación de la cuenca, así como la invasión/reducción del espacio ecológico original de cauces y cuerpos de agua como la Laguna El Tule y la desembocadura del arroyo El Pedregal por terraplenes. Estos grados en su condición de deterioro de cada una de las micro cuencas son los que permiten definir los números de curva del cuadro 4, y de acuerdo también a su pendiente definen los aportes a la escorrentía, durante los dos eventos medidos.

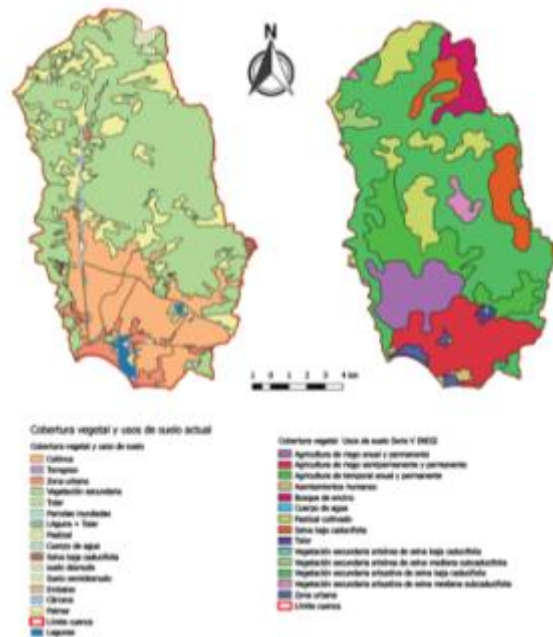


Figura 6 Fragmentación de la cobertura vegetal y cambios de usos de suelo base del cálculo de la condición hidrológica y el número de curva

Las unidades o microcuencas más importantes de acuerdo a sus aportes son, las correspondientes a la parte alta de la cuenca (zona de captación): El Choncho, Juan Ángel, Lázaro Cárdenas (El Pedregal), El Flechadero, otras subunidades de mayor aportación que se podría suponer se ubican en la parte “media” (zona de “conducción”): La Paz, La Paz (2) y El Lindero, mientras que las restantes, con excepción de El Ranchito y Punta Melaque, prácticamente se localizan en la parte baja sobre la planicie de inundación (zona de almacenamiento).



Cuadro 4 Números de curva (*NC*), y Escorrentías (*Q*) y Laminas de precipitación efectiva, estimados por el método del número de curva, para las tormentas Patricia (95.4 mm) y Post Patricia (144 mm), para la cuenca El Pedregal- San-Patricio. Todos los parámetros estimados fueron realizado de acuerdo a Chow et al., 1994; Gaspari et al., 2007; Ellis et al., 2012; Alonso-Sánchez et al., 2014)

Microcuenca	Área (m ²)	%	NC	<i>I_a</i>	<i>Q</i> (mm) Patricia	m ³	<i>Q</i> (mm) Post-Patricia	m ³
El Choncho	13'213,032	23.8	79.1	13.4	45.08	595,703	86.26	1'139,763
Juan Ángel	3'359,774	6.1	84.4	9.4	55.68	187,073	99.85	335,482
L Cárdenas	8'316,705	15.0	81.7	11.4	50.15	417,087	92.87	772,412
Flechadero	4'635,742	8.4	80.1	12.7	46.90	217,394	88.65	410,959
La Paz	2'238,952	4.0	86.0	8.3	59.02	132,144	103.95	232,747
Lindero	6'189,208	11.2	72.4	19.3	33.51	207,377	70.23	434,677
La Paz (2)	4'158,022	7.5	74.6	17.3	37.10	154,254	75.35	313,316
L. Melaque III	3'804,968	6.7	79.1	13.4	45.16	171,833	86.36	328,601
Melaque III (2)	3'000,422	5.4	77.1	15.1	41.39	124,199	81.30	243,926
Ranchito	2'819,385	5.1	82.1	11.1	50.94	143,626	93.89	264,709
Barrio Nuevo	2608281	4.7	86.6	7.9	60.35	157,402	105.56	275,329
Punta Melaque	1'115,051	2.0	81.0	11.9	48.75	54,364	91.07	101,552
Total m ²	55'459,542	100	79.5		574.03	2'562,457		4'853,473
Superficie Km ²	55.46				Total m ³	5'124,913		9'706,947

4 CONCLUSIÓN Y DISCUSIONES

Las características biofísicas encontradas en la cuenca El Pedregal como son: alto relieve, suelos erosionables, alta densidad hidrográfica, bajo tiempo de concentración, entre otros (Chávez-González, 2008; Mariscal-Romero *et al.*, 2014; Domínguez-Walle y Morales, 2015), además del deterioro ambiental consistente de: una alta fragmentación, donde la vegetación original se encuentra a nivel relictual, baja cobertura vegetal por la expansión de los pastizales, anarquía respecto de los cambios de uso del suelo, sustituciones y conversiones desordenados, es decir sin un patrón de distribución definido (Holland *et al.*, 2011), son consecuencia de malas prácticas en la mayoría de las actividades humanas, son algunos de los factores que han contribuido a potenciar los impactos y problemáticas ecológicas, como la erosión, las inundaciones y los deslaves que se presentan durante estos eventos, así como socio-económicos, que se han reflejado en pérdidas materiales, económicas y de vidas humanas



en la bahía y otras cuencas aledañas. Por ejemplo, los daños ocasionado por Jova en 2011 para la costa de Jalisco, se manifestaron en la afectación a 40 colonias con 2,600 casas inundadas y ubicó temporalmente a 4,200 personas en diferentes albergues y 8,000 con familiares (Olguín et al., 2012).

En la región costera de Jalisco, la series históricas determinan que los patrones de precipitación se relacionan con el paso e impacto de los distintos eventos hidro-meteorológicos, muchos de ellos extremos, que inciden sobre la intensidad de las lluvias, de intensas a torrenciales que se precipitan sobre esta y otras cuencas locales en al menos 1.25 eventos por año (Bullock, 1986; De Ita-Martínez y Barradas, 1986; García-Oliva *et al.*, 1991; Huerto-Delgadillo, 2001). En el periodo analizado por este estudio de los últimos 15 años, las lluvias asociadas a estos eventos ya sea por su paso o su impacto cercano a la zona, han producido lluvias que van de los acumulados de 89 a 430 mm, sin embargo, solo seis de ellos que han superado los 135 mm acumulados en diferentes periodos por días, han tenido como consecuencia una inundación local documentada. La producción de lluvia a causa de estos meteoros, ya sea por el paso o su impacto en las cercanías, permite estimar que la frecuencia de las inundaciones en la bahía es de un evento de inundación cada 2.5 años y estas ocurren sobre las mismas áreas agrícolas y urbanas de la bahía en todos los eventos, pero en diferentes grados de afectación, magnitud y superficie. La comparación de las dos tormentas analizadas a asociadas al ciclón Patricia, denominadas Patricia (95.4) y Post Patricia (144 mm de lluvia acumulada), produjeron escurrimientos totales de 5'124,913 y de 9'706,947 m³ respectivamente. El primer volumen calculado por el método, no fue causa de inundación en la Bahía más si generó una pluma sedimentaria en la zona marina de una extensión de 900, mientras que la segunda Post Patricia inundó un área de 458 ha y generó una pluma sedimentaria de 938 ha.

Con excepción de Barrio Nuevo que corresponde a un área inundable, todas las microcuencas analizadas presentan una pendiente es superior a 5%. De acuerdo con los valores de I_a calculados, las microcuencas con valores <10mm corresponden a: Juan Ángel, La Paz y Barrio Nuevo, estas presentan los mayores valores de Q, sin embargo, la superficie que comprenden sugiere escurrimientos volumétricos en m³ inferiores a los que presentan El Choncho y Lázaro Cárdenas, en las cuales se genera ~40% del volumen total.

Los cambios de cobertura y usos de suelos en las cuencas analizadas son muy intensos por lo que, de acuerdo con Cotler et al., (2010) y el IPCC (2014) ya pudieron haber afectado el micro clima local, los servicios ecosistémicos y el funcionamiento eco-hidrológico de las cuencas. En razón de esto el tipo de tratamiento de acuerdo a la cobertura vegetal y usos del suelo fueron considerados como en condiciones de regulares a malas en la asignación de los números de curva. Sin embargo, considerando que es la primera aproximación al cálculo de precipitación efectiva en la cuenca El Pedregal existe cierta incertidumbre en los valores calculados debiendo tomarse bajo estas consideraciones (Garen y Moore, 2005; Ares et al., 2012; Alonso-Sánchez et al., 2014), por lo que existe la necesidad en estudios posteriores de calibrar y ajustar cada vez más los números de curva.

De acuerdo con Cutler et al (2010) el 50% de las cuencas de México presentan un grado de alteración (deterioro) de muy alto a extremo o un nivel de presión alto. De éstas, 43 cuencas que representan el 23% del territorio nacional requieren medidas urgentes para recuperar su funcionamiento eco hidrológico, por lo que considerando, las condiciones encontradas para este caso de estudio, se observa que el deterioro ambiental es muy alto, esto combinado con el régimen meteorológico regional a partir de este diagnóstico, potencia considerablemente las afectaciones cada vez más recurrentes, por lo que se sugiere incluir las cuencas aquí estudiadas como prioritarias para efectos de su restauración.

5 AGRADECIMIENTOS



A los alumnos de Biología y Biología Marina de la Universidad de Guadalajara, Jorge Macías, Martín Cortéz, José Valencia. A los involucrados en ayudarnos a recolectar los datos de lluvia, J. Guadalupe Merino, Alfredo Salaiza y Armando Alvízar. A la Universidad de Guadalajara, en particular a la Jefatura del DEDSZC 2004-2015 por su patrocinio.

6 LITERATURA CITADA

- Alonso-Sánchez, H., Ibáñez-Castillo, L. A., Arteaga-Ramírez, R. y Vázquez-Peña, M. A. (2014). Identificación de curva de escurrimiento en tres microcuencas del río Coatán, Chiapas, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 5(4):153-161.
- Ares, M. G., Varni, M., Chagas, C. y Entraigas, I. (2012). Calibración del número N de la curva de escurrimiento en una cuenca agropecuaria de 166 km² de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Agrociencia*. 46(6): 535-541. Recuperado de <<http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n6/v46n6a1.pdf>>
- Brennan, M. J. (2012). Tropical Cyclone Report Hurricane Jova (EP102011) 6–12 October 2011. National Hurricane Center. NOAA. Recuperado de <http://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP102011_Jova.pdf>
- Bullock, S. H. (1986). Climate of Chamela, Jalisco, and trends in the south coastal region of Mexico. *Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology*, 36(3): 297–316.
- Chávez-González, T. (2008). Caracterización hidrográfica de las cuencas de Bahía de Navidad, municipio de Cihuatlán, Jalisco. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur. Pp. 52.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. y Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Editorial Mc Graw-Hill. Traducción por Saldarriaga, J. G. Pp 584.
- De Ita-Martínez, C. y Barradas, V. L. (1986). El clima y los patrones de producción agrícolas en una selva baja caducifolia de la costa de Jalisco, México. *Biótica*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos Bióticos. 11 (4): 233-245.
- Cotler, H., Garrido, A., Bunge, V., Cuevas M. A., 2010. LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO:
- PRIORIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES en Cotler, H., Garrido, A., Bunge, V. y Cuevas, M. L. (2010). Las cuencas hidrográficas de México: Priorización y toma de decisiones. En Cotler, H. (Coord) Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. 1ra. Edición. Pluralia Ediciones e Impresiones SA de CV, México, D. F. Pp 210-215.
- Domínguez-Walle, M. A. y Morales, A. P. (2015). Evidencias sobre la vulnerabilidad biofísica en el caso del Huracán Patricia. *Papeles de Geografía*. (61): 169-175.
- Ellis, E. A., Romero, J. A., Hernández, I. U., Gallo, C. A. and Alanís, J. L. (2012). Geographical evaluation of areas susceptible to flooding in the Tuxpan River watershed, Veracruz, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 16(1): 7-28.
- Gaspari F. J., Senisterra G. E. y Marlats R. M. 2007. Relación precipitación-escurrimiento y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. *Rev FCA UNCuyo*. 39(1): 21-28
- Garen, D. C. and Moore, D. S. (2005). Curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions. Wiley Online Library. Recuperado de <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-1688.2005.tb03742.x/epdf>>.
- Holland, T. L., Mariscal-Romero, J., Davidson-Arnott, R. and Cardille, J. (2011). Landscape changes in a coastal system undergoing tourism development: implications for Barra de Navidad Lagoon, Jalisco, Mexico. *Investigaciones Geográficas*. 74:7-18.
- Hudson, W. D. (1997). Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. Boletín de suelos de la FAO -68. Recuperado de <<http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s00.htm#Contents>>.



- Huerto-Delgadillo, R. (2001). Capítulo IV. Descripción del Sistema Ambiental Regional y Señalamiento de Tendencias del Desarrollo y Deterioro de la Región. Manifestación de Impacto Ambiental, Modalidad Regional del Proyecto El Naranjo II, Colima. CONAGUA-IMTA. Pp. 182.
- INEGI. (2011). Taller Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas versión 2.1. Recuperado de: <http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/PDF/Taller_Red_Hidro_50K_SIATL.pdf>
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. Pp. 151.
- Mariscal-Romero, J., Chávez-González, T. R. y Arciniega-Flores, J. (2014). Cuencas de la Bahía de Navidad, Jalisco: caracterización hidrográfica y diagnóstico. Memorias Congreso Nacional Cuencas Hidrográficas.
- Martínez-Menes, M., Fernández-Reynoso, D. y Salas-Martínez, R. (2013). Hidrología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. SAGARPA. Pp. 20. Recuperado de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_HIDROLOGÍA.pdf>
- MEA. (2005). Millennium Ecosystem Assessment Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. Recuperado de <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>
- <http://weather.unisys.com/hurricane/>
- National Hurricane Center -NOOA (2015). PATRICIA Graphics Archive. En http://www.nhc.noaa.gov/archive/2015/graphics/ep20/loop_S.shtml. Fecha de consulta: 14-12-2015.
- Salas-Salinas, M. A. y Jiménez-Espinosa, M. (2013). Inundaciones. 1ra edición. CENAPRED México, D.F. 56 pp. Recuperado de <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>
- Olguín-López J. L., Guevara-Gutiérrez R. D., Ramírez Romero J.M., Álvarez Rodríguez M R. 2012. LOS EFECTOS DE “JOVA” EN EL MUNICIPIO DE AUTLÁN DE NAVARRO, JALISCO, MÉXICO: UN CASO HISTÓRICO. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo. 2 (4):1-19
- Servicio Meteorológico Nacional SMN-CNA. (2011). Pronóstico del tiempo, Imágenes de Satélite. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. Boletín informativo. Versión electrónica: <http://www.smn.cna.gob.mx/> Fecha de consulta: 21-10-2011.
- Servicio Meteorológico Nacional SMN-CNA (2013). Pronóstico del tiempo, Imágenes de Satélite. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. Boletín informativo. Versión electrónica: <http://www.smn.cna.gob.mx/> Fecha de consulta: 15-18-09-2013.
- Servicio Meteorológico Nacional SMN-CNA (2015). Pronóstico del tiempo, Imágenes de Satélite. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. Boletín informativo. Versión electrónica: <http://www.smn.cna.gob.mx/> Fecha de consulta: 24-10-2015.
- US Army Corps of Engineers. (2010). HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Recuperado de <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf>
- USGS. (2016). El ciclo del agua: Thewatercycle. U. S. Geological Survey. Recuperado de <<http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>>
- WWDR (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). (2016). Agua y empleo. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos



IV CONGRESO
NACIONAL

MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo. París, UNESCO. Pp. 164. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244103s.pdf>

- Wood, P. J., Hannah, D. M., and Sadler J. P. (Ed) 2008. Hydroecology and Ecohydrology: Past, present, and future. Chichester West Sussex, England. Wiley. Recuperado de: <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9780470010198>



Extenso ID: 316. Esteban Chirino Miranda^{ac}, María Elena Granados García^b, Alberto Vilagrosa CARMONA^{ac} BALANCE HÍDRICO EN PINARES CON DIFERENTE DENSIDAD DE ARBOLADO Y SU EFECTO SOBRE EL ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE ESTRATEGIA REBROTADORA

[Regresar al índice](#)

^aCentro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM). C/ Charles R. Darwin, 14. Parque Tecnológico. 46980 - Paterna, Valencia, España

^bFacultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

^cDpto. Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Apdo. 99. 03080-Alicante. España

RESUMEN

La introducción de especies rebrotadoras bajo el dosel de bosques monoespecíficos de *Pinus halepensis*, se ha planteado como práctica útil de reforestación para aumentar la resiliencia de estos bosques en el sureste de España. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el balance hídrico del suelo en bosques de pino carrasco con diferente densidad de arbolado, a través del modelo ecohidrológico HYDROBAL, evaluando el efecto sobre la introducción y establecimiento de plántulas de especies nativas utilizadas en la restauración forestal. Se definieron tres tratamientos experimentales en función de la densidad de pinos: baja (100-300 pies ha⁻¹); media (300-700 pies ha⁻¹) y alta (700-1100 pies ha⁻¹), establecidos como consecuencia de labores previas de aclareo en la región de La Hunda (Ayora, Valencia, España). En cada tratamiento se delimitaron tres parcelas experimentales de 900 m², localizadas en tres sitios (El Aljibe, El Lobo y El Mojón). En cada parcela se introdujeron quince plántulas de seis especies rebrotadoras con características morfo-funcionales contrastadas (*Arbutus unedo*, *Rhamnus alaternus*, *Quercus ilex*, *Quercus faginea*, *Fraxinus ornus*, *Acer opalus ssp granatense*). Los resultados del balance hídrico indicaron que las parcelas con alta densidad de pinos mostraron menor transcolación y, en consecuencia, menor humedad del suelo; lo cual coincidió con los resultados observados en campo. No obstante, y contrariamente a los resultados esperados, en las parcelas de alta densidad se registraron los mayores valores de supervivencia (85%) y crecimiento en altura; lo cual pudo ser favorecido por el efecto protector del dosel, que redujo significativamente la radiación solar (transmisividad de luz solar: 15%). Por otro lado, el crecimiento en diámetro fue mayor en las parcelas de baja densidad, lo que puede ser consistente con asegurar la formación de raíces para preservar el abastecimiento de agua y permanencia de las plántulas.

Palabras clave: ecohidrología, supervivencia, resiliencia, reforestación

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de la Cuenca Mediterránea, como otros ecosistemas del mundo que han sufrido fuertes y continuados procesos de degradación, se han convertido en el centro de atención de la comunidad científica, la cual ha orientado el esfuerzo hacia su conservación. Se proyecta promover el restablecimiento de los ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos como resultado directo o indirecto de la actividad humana (Society for Ecological Restoration Science & Policy Working Group 2002). Las acciones de restauración se han enfocado en aumentar la fijación de



carbono, proteger y mantener la biodiversidad y reducir los riesgos de erosión y de incendios forestales. En áreas susceptibles al fuego, así como en aquellas que han sufrido diversos procesos de degradación o perturbación, uno de los objetivos es mejorar la resistencia y especialmente la resiliencia de los bosques a partir de acciones de reforestación con especies clave en la sucesión para la recuperación del paisaje.

Se ha considerado que los bosques infiltran una gran cantidad de agua y generan poca escorrentía; sin embargo, una alta densidad de cubierta vegetal presenta una elevada interceptación de la lluvia, reducen la precipitación neta y, en consecuencia, la cantidad de agua que llega a la superficie del suelo y es infiltrada. Así mismo, una mayor cobertura y estratificación del bosque contribuye a reducir la escorrentía superficial y la pérdida de suelo por erosión. Sin embargo, el dosel de un bosque denso, suele tener un elevado consumo de agua como consecuencia de la transpiración de la vegetación (Gallart y Llorens, 1994) lo que conduce a la competencia por el agua de infiltración lenta, almacenada superficialmente (Bellot y Escarré, 1998). En este sentido, la composición de especies, estructura y densidad del arbolado son variables que regulan los flujos de agua que determinan el balance hídrico del suelo. La respuesta a esta disyuntiva se basa en diseñar una estructura vegetal adecuada, que proteja al suelo frente a la erosión, evite fuertes escorrentías, y a la vez favorezca niveles de humedad del suelo adecuados para el establecimiento de nuevos individuos.

En la Cuenca Mediterránea, son comunes los bosques de árboles y arbustos esclerófilos nativos que pertenecen a especies rebrotadoras (Paula *et al.* 2009). Este hecho, aunado al establecimiento de bosques de pino como resultado de repoblación forestal, en particular con pino Alepo, harían posible complementar las características de ambos grupos de especies como la alta supervivencia y el rápido crecimiento de los pinos y la alta resiliencia al fuego —esto es, la eficiente capacidad de rebrotar— de los encinos y otras especies (Pausas *et al.* 2004). Desde esta perspectiva se plantea que en áreas degradadas que han sido afectadas por el fuego u otros disturbios, se introduzcan especies leñosas nativas que ayuden a promover la sucesión.

En la zona de estudio del presente trabajo, se encuentran bosques de *Pinus halepensis* proveniente de una plantación realizada entre 1945 y 1950 que, como resultado del establecimiento de Zonas de Actuación Urgente (ZAU) en la región de La Hunda, se han generado rodales con diferente densidad de árboles. Esta situación fue considerada para la elección de sitios potenciales que cuentan con diferentes parámetros hídricos y características micro-climáticas, lo que podría promover respuestas diferenciadas de las especies que conservan rasgos ontogénicos, morfológicos y funcionales propios.

Actualmente la literatura describe una amplia variedad de modelos hidrológicos (Vardavas, 1988; Gracia *et al.*, 1999; Arnold *et al.*, 1999; Delgado *et al.*, 2010), los cuales difieren en sus objetivos, datos de entrada, complejidad, y resolución espacial y temporal. En algunos casos, se han desarrollado modelos para determinar la escorrentía superficial y la producción de sedimentos. En otros casos se han empleado para evaluar los efectos de los usos del suelo sobre la hidrología, predecir la demanda estacional de riego y los efectos de la cubierta vegetal en la recarga de acuíferos. Pero el uso de modelos hidrológicos para evaluar los efectos del balance hídrico sobre el establecimiento de nuevos individuos en una formación vegetal, es menos frecuente.



En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el balance hídrico del suelo en bosques de pino carrasco con diferente densidad de arbolado utilizando el modelo ecohidrológico HYDROBAL, y evaluar sus efectos sobre la introducción y establecimiento, bajo el dosel del pinar, de especies ampliamente utilizadas en la restauración forestal. La hipótesis es que los pinares de densidades medias producirán las mejores condiciones para la instalación de nuevas especies ya que generarán menor competencia por el agua, con respecto a las parcelas de alta densidad, a la vez que se producirá una facilitación debido a las condiciones de sombreo que generan, en contraste con las parcelas de baja densidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de Estudio

Las parcelas se localizan en La Hunde, Municipio de Ayora, provincia de Valencia, sobre la carretera CV-440 dirección Albacete a 30° 7' N; 1° 13' W y 39° 6' N; 1° 11' W. La precipitación promedio en esta zona es de 480 mm anuales que se registran fundamentalmente durante primavera y otoño, la temperatura media es de 13.7°C (Pérez-Cueva 1994). El clima es seco meso Mediterráneo. El sustrato en el que se sitúa la Hunde es calcáreo, con suelos superficiales. La pedregosidad varía entre 27 y 49%.

2.2 Diseño experimental

Se seleccionaron tres sitios: El Aljibe, El Lobo y El Mojón. En cada sitio se deslindaron parcelas con diferente densidad de pinos: alta densidad (AD), media densidad (MD) y baja densidad (BD), cada una cuenta con una superficie aproximada de 900 m² (30x30 m). En cada parcela se plantaron 15 plantas por especie de manera que contamos con 90 plantas por parcela, 270 por sitio y 810 en el experimento. La plantación se realizó en febrero del 2011 en hoyos de 40X40X40 usando la técnica de ahoyado mecánico con retroexcavadora. Se seleccionaron seis especies de plantas rebrotadoras que pertenecen a diferentes grupos funcionales. Las plántulas fueron cultivadas durante el año anterior a la plantación en viveros del Servicio Forestal de la Generalitat Valenciana. Las especies seleccionadas fueron: *Rhamnus alaternus*, *Arbutus unedo*, *Quercus ilex* ssp *ballota*, *Q. faginea*, *Fraxinus ornus*, *Acer opalus* ssp *granatense* (=A. *granatense*).

2.3 Monitoreo de parámetros hídricos

Se recolectó el agua de lluvia por medio de pluviómetros colocados sobre una línea diagonal trazada dentro de cada parcela, estimando la cantidad de agua (L/m²) recogida debajo de la cubierta de pinar. En cada parcela se instalaron tres pluviómetros. En cada una de las 9 parcelas se colocaron siete pares de varillas metálicas de 20 cm de longitud distribuidas al azar en los diferentes hoyos de plantación. La humedad fue registrada mediante una sonda TDR y el software PC-TDR (TDR100 Support Software). También se determinó la humedad del suelo a una profundidad de 0-40 cm por medio de sondas HS-10 (Decagon Devices). Las sondas se colocaron en tres hoyos de plantación en cada parcela, determinando la humedad del suelo a ambas profundidades mensualmente.

2.4 Crecimiento y supervivencia

Se monitoreó el crecimiento de todas las especies en función de la densidad durante la primavera y otoño del 2011, 2012 y 2013, estimándose la tasa de crecimiento relativo (RGR) en altura y diámetro: $RGR = (\ln P2 - \ln P1) / (t2 - t1)$. Se determinó la supervivencia de todas las especies introducidas en el mismo período.

2.5 Modelo Hydrobal

El modelo estima a partir de la precipitación bruta (PB, los flujos de agua [transcolación (Tr), escorrentía cortical (Ec) e interceptación (Int)] a través del dosel vegetal considerando la composición, cobertura y estratificación de las especies, para lo cual se usan ecuaciones de regresión obtenidas durante el experimento o seleccionadas de investigaciones previas (Bellot y Chirino, 2013), simulaciones en laboratorio (Derouiche, 1996; Abdelli, 1999) o reportadas en la bibliografía (Belmonte y Romero, 1998). Las variables de salida son: evapotranspiración de referencia, evapotranspiración actual, interceptación, precipitación neta, escorrentía superficial, drenaje profundo y humedad del suelo.

2.6 Análisis estadístico

El experimento corresponde a un diseño factorial: tres densidades (AD, MD y BD) y seis especies. Las medias de la densidad de arbolado (pies ha⁻¹), cobertura vegetal (%), fracción de cabida cubierta (%), cobertura de arbustos (%), cobertura de arbustos bajos (%), cobertura de gramíneas (%), diámetro a la altura del pecho (DBH, cm), área basal (m² ha⁻¹) y transmisividad de luz solar (TLS, %); así como las medias de las tasas de crecimiento relativo RGR en altura y diámetro fueron comparadas mediante un análisis de la varianza (ANOVA de un factor, *test a posterior* Tukey's HSD). Los datos de supervivencia fueron analizados utilizando el test de Kaplan-Meier (Log Rank). Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS© v. 18.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

3. RESULTADOS

3.1 Características de las parcelas experimentales

Las parcelas de alta densidad (AD) presentaron mayor densidad de pinos, área basal y en consecuencia mayor cobertura vegetal ($p < 0.05$; Tabla 1). El análisis de la estructura indicó que en AD predominó el estrato arbóreo ($p < 0.001$), mientras en las parcelas de media densidad (MD) los arbustos ocuparon el 33%, aunque no se observaron diferencias significativas. En las parcelas BD y MD, las especies arbustivas de porte bajo y de gramíneas representaron un estrato importante; siendo éstos casi nulos en AD. Los brinzales plantados bajo el dosel en los tratamientos con mayor densidad de pinos recibieron menos horas de luz a lo largo del año, lo que se reflejó en la reducción de la radiación en alta densidad en donde se redujo el 80.1% de la PPFD a pleno Sol, mientras que MD y BD mostraron una reducción del 56.4% y 24.5% respectivamente (Granados *et al.* 2016; Tabla 1).

Tabla 1. Características de los tratamientos experimentales. Resultados ANOVA de un factor (Media±error típico; N=3; test a posterior Tukey's HSD; valores seguidos de letra diferente indican diferencia significativa). Abreviaturas: cobertura (Cob.).

		Tratamientos			Valor F
		AD	MD	BD	
Disminución de PPFD	(%)	80.1	56.4	24.5	463.2ns
Cobertura del Dosel	(%)	86.2±2.2a	74.6±1.1ab	62.6±8.4c	5.360*
Cobertura Arbustos	(%)	5.5±2.0	33.8±18.0	14.2±7.6	1.645 ns
Cob. arbustos bajo	(%)	2.1±1.4 c	11.8±5.1 ab	20.5±4.6 a	5.232 *
Gramíneas	(%)	0.34±0.2c	5.2±2.2 a	21.4±9.9a	21.279 **
Densidad del rodal (Arboles/ha ⁻¹)		1067±141a	344±19b	165±25b	32.687***



Area basal (m ² /ha ⁻¹)	31.7±1.3a	12.4±1.6b	7.5±1.0b	96.118***
--	-----------	-----------	----------	-----------

3.2 Balance hídrico

En un período de tres años 2011-2013 la precipitación acumulada fue de 1583 L m⁻², lo que representa un 100% de las estimaciones. Las parcelas de BD presentaron menor interceptación de la precipitación (14%) y en consecuencia mayor precipitación neta (86%). En contraste, las parcelas de AD interceptaron hasta el 39% de la precipitación bruta (PB), reduciendo la lluvia que llega al suelo hasta el 61%. Las parcelas de MD mostraron un comportamiento intermedio (Tabla 2). La escorrentía superficial no superó el 0,7% de la PB (Tabla 2), lo cual está en correspondencia con el relieve llano de la zona. Una menor cobertura vegetal se tradujo en mayor infiltración del agua en el suelo. La infiltración en BD alcanzó el 36% de la PB, mientras que en AD fue el 25%. El porcentaje de agua verde (GW) mostró un incremento con el aumento de la densidad de árboles, siendo 64% en BD y 75% en AD (Tabla 2). En cambio, fue en las parcelas de menor densidad donde se aportó mayor porcentaje de agua a la percolación profunda (agua azul en BD = 37%) en relación con las parcelas de alta densidad (BW = 26%). En general, el agua utilizada por la vegetación y evaporada hacia la atmósfera en estas formaciones vegetales mostró una media de 2.5 veces al porcentaje de agua que escurre superficialmente o se infiltra en el suelo.

Tabla 2. Balance hídrico del suelo por densidad de pinos determinado a partir del modelo HYDROBAL. media, N=3) acumulados en el período (años 2011, 2012 y 2013). Valores en % respecto a la precipitación bruta acumulada. Abreviaturas: Precipitación bruta (PB), Interceptación (Int), precipitación neta (Pnt), escorrentía superficial (Es), Reserva de agua el suelo ($\Delta\theta = \theta_{\text{final}} - \theta_{\text{inicial}}$), Infiltración (Infilt), evapotranspiración real (Eta), agua azul (BW = Es + Infilt), agua verde (GW = Int + Eta).

	PB	INT	PNT	ES	DQ	INFILT	E _{TA}	GW	BW	GW/BW
AD	100	38.6	61.4	0.5	-0.3	25.0	36.5	75.1	25.5	2.95
MD	100	29.5	70.5	0.7	-2.0	25.4	45.2	74.8	26.1	2.86
BD	100	14.4	85.6	0.7	-2.6	36.4	49.6	64.0	36.7	1.74

3.3 Efecto sobre la supervivencia y el crecimiento

La supervivencia de los brinzales introducidos bajo el dosel de pinos en las diferentes tipos de densidades, en general, después de tres años fue de 78%. En las parcelas de AD se registró mayor supervivencia de los brinzales ($p < 0.001$; Tabla 3). Las parcelas en MD y BD no mostraron diferencias significativas. Los brinzales en AD y MD mostraron mayor RGR en altura ($p < 0.05$; Tabla 3); mientras en BD y MD se observaron los mayores valores de RGR en diámetro ($p < 0.05$).

Tabla 3. Supervivencia y crecimiento relativo en altura y diámetro después de tres años en plantación, Resultados estadísticos en supervivencia (Test de Kaplan-Meier, Log Rank) y tasa de crecimiento relativo-RGR (ANOVA de un factor; N=3; *test a posterior* Tukey's HSD; valores seguidos de letra diferente indican diferencia significativa).

Densidad de pinos	Supervivencia	RGR altura año-1	RGR diámetro año-1
AD	85.0±2.1 a	0.081±0.004 a	0.060±0.004 b
MD	75.2±2.5 b	0.072±0.005 a	0.079±0.004 a
BD	73.7±2.5 b	0.057±0.005 b	0.082±0.004 a
Valor F	13.230 ***	6.7867 **	11.738 ***

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En zonas semiáridas de la Cuenca Mediterránea la reforestación se ha basada principalmente en la reintroducción de coníferas y particularmente de *Pinus halepensis* Miller (Vallejo, 1996; Cortina *et al.*, 2004), llegando a representar el 89% de la superficie forestal en el sector semiárido de la provincia de Alicante (Bautista, 1999). Las regiones de clima meso Mediterráneo seco no han estado exentas de estas prácticas, lo que ha favorecido la existencia de grandes extensiones de repoblaciones monoespecíficas de pino carrasco (Vallejo *et al.*, 2000) y la reducción de la riqueza y diversidad de especies en el sotobosque (Chirino *et al.*, 2006), haciéndolas propensas o más vulnerables a los incendios forestales (Vallejo *et al.* 2012).

Como se ha establecido en investigaciones previas, la disponibilidad de agua y luz en ecosistemas Mediterráneos varían en intensidad e interactúan simultáneamente (Zavala *et al.* 2000; Valladares y Pearcy 2002), afectando el establecimiento, crecimiento y supervivencia de las plantas que crecen bajo el dosel de los pinos (Callaway 1997; Tracol *et al.* 2011). En nuestro estudio, encontramos que las parcelas con mayor densidad de pinos tuvieron menos horas de luz solar bajo del dosel a lo largo del año reduciendo significativamente la intensidad de la luz (80% de la PPFD; Tabla 1), respecto a aquellas parcelas donde las labores de aclareo fueron más intensas. En este sentido, se ha determinado que valores muy bajos de PPFD pueden afectar la actividad fotosintética de especies mediterráneas (Gulias *et al.* 2003), comprometiendo el rendimiento de las especies. Sin embargo, encontramos que la supervivencia de las plantas fue mayor en las parcelas de AD, debido probablemente a las condiciones de sombreo que resultaron favorables para el establecimiento de éstas.

El flujo de agua vertical a través de las plantas hasta su llegada al suelo, está condicionado por la composición y estructura de la formación vegetal, por lo que el balance hídrico estará determinado por la densidad de árboles y otras especies presentes (Chirino 2003). En nuestro estudio se logró determinar diferencias en el balance hídrico, de manera similar al encontrado por Del Campo *et al.* (2014), en el que se reportaron valores similares a los observados en nuestro estudio, en las parcelas de BD y AD; específicamente respecto a los flujos de interceptación (12 – 40%), transcolación (88-60%) y la suma de los flujos de transpiración y evaporación directa (49-47%). La disminución de la



infiltración con el incremento de la densidad de pinos fue un patrón similar en ambos trabajos, pero con porcentajes inferiores en el estudio precedente (C: 13% y H: 42%).

Además de la importancia de la vegetación en la regulación de los flujos hídricos (Chirino, 2003; Yildiz y Barros, 2007) y en la protección del suelo contra la erosión (Vacca *et al.*, 2000; Chirino *et al.*, 2006), es relevante considerar la introducción de especies frondosas y arbustivas rebrotadoras nativas con el fin de mejorar la resistencia y resiliencia de ecosistemas mediterráneos frente al fuego y otras perturbaciones (Vallejo *et al.* 2012). En este estudio se revela que las parcelas de alta densidad de pinos mostraron menor humedad del suelo y menor disponibilidad de luz durante el período de seguimiento de la plantación experimental. No obstante, ha sido en estas parcelas donde se ha observado mayor supervivencia y crecimiento en altura. Esto indica que la humedad del suelo no fue un factor limitante para la supervivencia y crecimiento de las especies introducidas. Simultáneamente, las parcelas con mayor densidad de pinos produjeron un efecto positivo sobre los plantones, reduciendo la intensa de la radiación solar incidente sobre los mismos.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el Ministerio de Economía (Proyecto SURVIVE CGL2011-30531-C02-02 y ECOBAL CGL2011-30531-C02-01), FUME (GA243888), Consolider-INGENIO (CTM2014-59111-REDC)

6. LITERATURA CITADA

- Abdelli, F. 1999. *Análisis comparativo de distintas comunidades vegetales a la distribución del agua de lluvia, a la conservación del agua en el suelo y a la recarga de acuíferos en medios semiáridos*. Tesis Master. IAMZ.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Allen, P.M., 1999. Continental scale simulation of the hydrologic balance. *J Am Water Resour Assoc.* 35(5), 1037-51.
- Bellot, J., Chirino, E., 2013. Hydrobal: An eco-hydrological modelling approach for assessing water balances in different vegetation types in semi-arid areas, *Ecol. Model.* 266, 30-41.
- Bautista, S., 1999. *Regeneración post-incendio de un pinar (Pinus halepensis, Miller) en ambiente semiárido. Erosión del suelo y medidas de conservación a corto plazo*. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante.
- Bellot, J., Escarré, A., 1998. Stemflow and throughfall determination in a resprouted Mediterranean holm-oak forest, and changes by precipitation trends. *Ann Sci forest.* 55(7), 847- 65.



- Belmonte, F., Romero, A., 1998. A simple technique for measuring rainfall interception by small shrub: "interception flow collection box". *Hydrol. Process.* 12, 471-481. doi: 10.1002/(SICI)1099-1085(19980315)12:471-481
- Callaway, R.M., Walker L.R., 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology.* 78(7), 1958-1965.
- Chirino, E., 2003. *Influencia de las precipitaciones y de la vegetación en el balance hídrico superficial y la recarga de acuíferos en clima semiárido*. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, Spain. Publicado en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/3386>.
- Chirino, E., Bonet, A., Bellot, J., Sánchez, J. R., 2006. Effects of 30-years-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in southeastern Spain. *Catena.* 65,19-29.
- Cortina, J., Bellot, J., Vilagrosa, A., Caturla, R.N., Maestre, F.T., Rubio, E., Ortiz De Urbina, J.M., Bonet, A., 2004. Restauración en semiárido. In Vallejo, V.R., Alloza, J.A. (eds.), *Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo* Valencia, Spain: Fundación CEAM, pp. 345-406.
- Del Campo, A.D., Fernandes, T. J. G., Molina, J.A., 2014. Hydrology-oriented (adaptive) silviculture in a semiarid pine plantation: How much can be modified the water cycle through forest management? *Eur. J. For. Res.* 133, 879-894. doi: 10.1007/s10342-014-0805-7.
- Delgado, J., Llorens, P., Guillaume, N., Calder, I.R., Gallart, F., 2010. Modelling the hydrological response of a Mediterranean medium-sized headwater basin subject to land cover change: The Cardener river basin (NE Spain). *J Hydrol.* 383,125-34.
- Derouiche, A., 1996. *Estimation et modelisation des composantes du bilan hydrique chez diferentes firmatios arborees, arbustives et herbacees mediterraneennes*. Tesis Master of Science. IAMZ.
- Gallart, F., Llorens, P., 1994. Papel de los cultivos de montaña y su abandono en la economía del agua. En: *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras*. Eds.: J.M. García Ruiz & T. Lasanta. Sociedad Española de Geomorfología, Zaragoza, pp. 43-55.
- Gracia, C. A., Tello, E., Sabaté, S., Bellot, J., 1999. GOTILWA: An Integrated Model of Water Dynamics and Forest Growth. In Rodà F. et. al. editors. *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak. Forests. Ecological Studies*, Vol. 137. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, pp. 163-79.
- Granados., G.M.E., Vilagrosa, A., Chirino, M. E. y Vallejo, C. R. 2016. Reforestation with resprouter species to increase diversity and resilience in Mediterranean pine forest. *Forest. Ecology and Management.* 362, 231-240.
- Gulias, J., Flexas, J., Mus, M., Cifre, J., Lefi, E., Medrano, H., 2003. Relationship between maximum leaf photosynthesis, nitrogen content and specific leaf area in balearic endemic and non-endemic mediterranean species. *Annals of Botany* 92, 215-22.
- Ortuño Medina, F., 1990. El plan para la repoblación Forestal de España del año 1939: Análisis y comentarios. *Ecología.* 1, 373-392.



- Pausas, J. G., Bladé, C., Valdecantos, A., 2004. Pine and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: new perspectives for an old practice—a review. *Plant Ecol.* 171, 209–220.
- Pérez-Cueva, A., 1994. *Atlas climático de la Comunidad Valenciana*. Valencia: Generalitat Valenciana, pp. 205.
- Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Touhami, I., Andreu, J.M., Chirino, E., Sánchez, J.R., Moutahir, H., Pulido-Bosch, A., Martínez Santos, P., Bellot, J., 2013. Recharge estimation of a small karstic aquifer in a semiarid Mediterranean region (southeastern Spain) using a hydrological model, *Hydrol. Processes*. 27, 165–174. doi: 10.1002/hyp.9200.
- Tracol, Y., Gutiérrez, J.R. Squeo, F.A., 2011. Plant Area Index and microclimate underneath shrub species from a Chilean semiarid community. *J. Arid. Environ.* 75, 1–6.
- Vacca, A., Loddo, S., Ollesch, G., Puddu, R., Serra, G., Tomasi, D. y A. Aru. 2000. Measurement of runoff and soil erosion in three areas under different land use in Sardinia (Italy). *Catena*, 40:69–92.
- Valladares, F., Pearcy, R.W., 2002. Drought can be more critical in the shade than in the sun: a field study of the carbon gain and photo-inhibition in a California shrub during a dry El Niño year. *Plant cell Environm.* 25, 749–759.
- Vallejo, V. R., Allen, E.B., Aronson, J., Pausas, J.G., Cortina, J., Gutiérrez, J.R., 2012. Restoration of Mediterranean-type woodlands and shrublands. In: van Andel, J., Aronson, J. (eds.). *Restoration Ecology: The New Frontier*. Blackwell Publishing Ltd, pp. 130–144.
- Vallejo, V.R., Smanis, A., Chirino, E., Fuentes, D., Valdecantos, A., Vilagrosa, A., 2012. Perspectives in dryland restoration: approaches for climate change adaptation. *New Forests*. 43, 561–579.
- Vallejo, V. R., 1996. Presentación. In Vallejo, V.R. (eds.), *La restauración de la cubierta vegetal en la Comunidad Valenciana*. Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. Valencia, pp. 3–7.
- Vardavas, I. M., 1988. A simple water balance daily rainfall-runoff model with application to the tropical Magela Creek catchment. *Ecol Model.* 42, 245–64.
- Yildiz O., Barros, A.P., 2007. Elucidating Vegetation Controls on the Hydroclimatology of a Mid-Latitude Basin. *J. Hydrol.* 333(2–4): 431–448.
- Zavala, M.A., Espelta, J.M., Retana, J., 2000. Constraints and tradeoffs in Mediterranean plant communities the case of Holm oak-Aleppo pine forests. *Botanical Review*. 66, 119–149.



IV CONGRESO
NACIONAL

**MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO



Extenso ID: 199. Miguel Ángel Domínguez Cortazar^a, Rocío Rodiles Hernandez,^b Iris Neri Flores^c.
LA NATURALIDAD DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL RÍO USUMACINTA

[Regresar al índice](#)

^aUniversidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, Qro., sopo300411@gmail.com

^bColegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, rrodiles@ecosur.mx

^cUniversidad Veracruzana, Facultad Ingeniería ITG, Boca del Río, ineri@uv.mx

RESUMEN

Las características físicas y bióticas que posee cualquier ecosistema son resultado de procesos de interacción entre sus distintos componentes (biota, suelo, clima, agua, etc.), cuando uno de éstos se altera, su efecto no solo es individual, sino que se transfiere a todo el ecosistema en conjunto. Se sabe además que una vez alterada la condición inicial, su capacidad de recuperación puede ser tan lenta e incluso imposible, poniendo en riesgo de extinción a las poblaciones y comunidades bióticas de relevancia económica, y a especies endémicas y frágiles, lo que puede comprometer finalmente un conjunto de servicios ecosistémicos vitales para el bienestar humano. Por su importancia entre estos componentes, el agua es fundamental y el mantenimiento de su régimen natural es requisito indispensable para mantener la salud y resiliencia de los ecosistemas acuáticos naturales. La cuenca del río Usumacinta es sin duda una de las que tiene mayor relevancia desde este punto de vista. La abundancia del recurso hídrico, su biodiversidad e importancia ecológica, aunado a sus características topográficas y orográficas, entre otros factores, hacen de esta región una de las más importantes del país y de Mesoamérica.

Se presenta en este trabajo un estudio general de caracterización hidrológica y de manera particular, un análisis de la “naturalidad” del régimen hidrológico de la cuenca del río Usumacinta. Este último se basa en el análisis detallado del régimen de caudales de su período estacional, pero sobretudo de su régimen de crecidas. El objetivo del estudio se centra en conocer hasta qué punto tales caudales siguen presentando condiciones de variabilidad natural y si ésta se ha afectado con la construcción de obras de regulación. La dinámica hidrológica del río se estudia a partir de indicadores estadísticos basados en cinco componentes críticos del régimen de avenidas, mismos que regulan en mayor medida los procesos ecológicos del ecosistema fluvial. Estos componentes son: la magnitud, la frecuencia, la duración, el momento de ocurrencia y la tasa de cambio de los caudales históricos registrados en las estaciones hidrométricas. Los resultados muestran que el río Usumacinta aún mantiene condiciones de flujo No Alterado, a pesar de que algunos de sus afluentes provenientes de Guatemala están siendo regulados para generación de energía eléctrica.

Palabras clave: régimen hidrométrico, estacionalidad, caudales ordinarios.

1 INTRODUCCION

Las características que posee cualquier sistema acuático es el resultado de un proceso de interacción entre sus distintos componentes (físico, biótico y social), cuando uno de éstos se altera su efecto no solo es individual, sino que se transfiere a todo el ecosistema en conjunto. Este mecanismo de interacción es el responsable de las variaciones y el estado actual que guardan los ecosistemas en el

planeta. En éstos, el factor de cambio mayor es el desarrollo económico de las regiones, lo que ha causado cambios drásticos en la mayor parte de los ecosistemas acuáticos o terrestres, este problema es cada vez más preocupante ya que se sabe que una vez alterada la condición inicial de un ecosistema, su capacidad de recuperación puede ser tan lenta e incluso imposible, lo cual sin duda puede colocar en grave riesgo de extinción a algunas de especies y comunidades bióticas delicadas, así como la alteración completa de algunos de sus componentes, lo que puede comprometer finalmente el bienestar humano. Un ejemplo claro de esta frágil interdependencia se da en la diversidad ictiofaunística. A escala local, la composición de la comunidad de peces está en función de las interacciones ecológicas, bien sea a través del uso del hábitat porque ocupen distintos microespacios del mismo, o ser de tipo alimentario cuando se establecen por la competencia o reparto del alimento, o cuando pertenecen a distintos niveles tróficos, como sucede en la relación presa- depredador. La composición de las comunidades de peces se modifica por cambios en las condiciones ambientales y su efecto sobre el gradiente de sensibilidad-tolerancia, o sobre cualquier otro atributo biológico de los muchos que existen, por la presencia de especies exóticas o de parásitos. La hidrodinámica de las corrientes y cuerpos de agua es otro factor que interactúa significativamente con la ictiofauna, se sabe por ejemplo que los caudales mínimos o la ocurrencia de caudales extraordinarios con ciertos períodos de retorno, establecen condiciones limitantes para el hábitat de muchas especies a través de parámetros hidráulicos como la velocidad o la profundidad del agua. Cuando los caudales mínimos ocurren de manera natural (llegando incluso a valores prácticamente nulos), el ecosistema se adapta permitiendo la puesta en práctica de estrategias adaptativas desarrolladas por las especies autóctonas a lo largo de su historia evolutiva. Si los episodios de caudales bajos se mantienen dentro de un intervalo natural de ocurrencia, las especies autóctonas pueden persistir en condiciones de estrés, mientras que la falta de adaptación de especies foráneas puede llevarlas a su extinción (Sánchez N., 2011). En el otro extremo de la variabilidad hidrológica, la ocurrencia de caudales extremos o crecidas, también es reconocida como uno de los factores más importantes en la dinámica ecosistémica. Cuando ocurre una crecida, se produce una intensa interacción entre la corriente de agua y su zona de influencia aledaña, esta interacción se da por un mecanismo de transferencia de masa y energía entre el cauce y su ribera, lo que activa la dinámica temporal de los ambientes acuáticos fuera del cauce principal y da lugar a distintas perturbaciones naturales en las especies (Sánchez N., 2011).

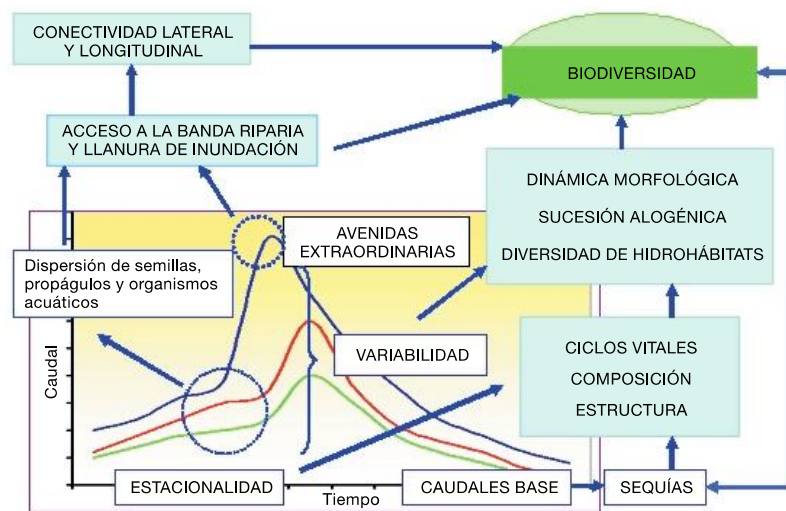


Figura 1. Paradigma del régimen natural de caudales (tomado de Martínez y Fernández, 2006, a partir de una adaptación del esquema propuesto por Arthington, 1997).

Otro ejemplo que expone con claridad las interacciones entre la variabilidad hidrológica de las

corrientes con sus entornos se da en la figura 1, retomada del trabajo de Martínez y Fernández (2006). En esta figura se representa el hidrograma natural de una corriente para un año húmedo (en azul), medio (en rojo) y seco (en verde). Se observa como los períodos estacionales y de avenidas, la ocurrencia de caudales base y la variabilidad en general, adquieren una relevancia ambiental en la conectividad longitudinal y transversal en áreas riparias y las llanuras de inundación, en la dinámica morfológica, la diversidad de hidrohábittats y en el ecosistema en general.

El entendimiento de estas dinámicas naturales de los ecosistemas es un requisito indispensable para promover su conservación, entendiendo que en esto va la propia supervivencia del ser humano. Por ello, en este trabajo se aborda el análisis de la variabilidad hidrológica del río Usumacinta con el fin de responder a la pregunta ¿A pesar de las obras de regulación construidas en el lado guatemalteco, presenta todavía el río Usumacinta, una condición inalterada en sus caudales?.

2 METODOS Y MATERIALES

El análisis de la variabilidad natural de los regímenes hidrológicos del río Usumacinta se basa en cinco componentes críticos del régimen de avenidas, régimen que regula en mayor medida los procesos ecológicos del ecosistema fluvial, estos componentes son: la magnitud, frecuencia, duración, momento de ocurrencia y tasa de cambio. Componentes que se pueden utilizar para caracterizar toda la gama de flujos y fenómenos hidrológicos específicos, tales como inundaciones o flujos bajos, que son críticos para la integridad de los ecosistemas fluviales (Sakaris, 2013).

El estudio está centrado en el análisis estadístico de los caudales del río siguiendo un gradiente longitudinal desde el sitio Frontera Corozal hasta el sitio Palizada. Se utilizaron los registros históricos disponibles en la estación hidrométrica Palizada (clave 30199) representativa de la cuenca baja, en la estación Boca del Cerro (clave 30019) representativa de la cuenca media y para la estación El Tigre (clave 30095) representativa de la cuenca alta (figura 2). Sin embargo, por cuestión de espacio, en este trabajo se presenta únicamente los resultados obtenidos para la estación Boca del Cerro, señalando que las mismas conclusiones aplican para las dos estaciones restantes.

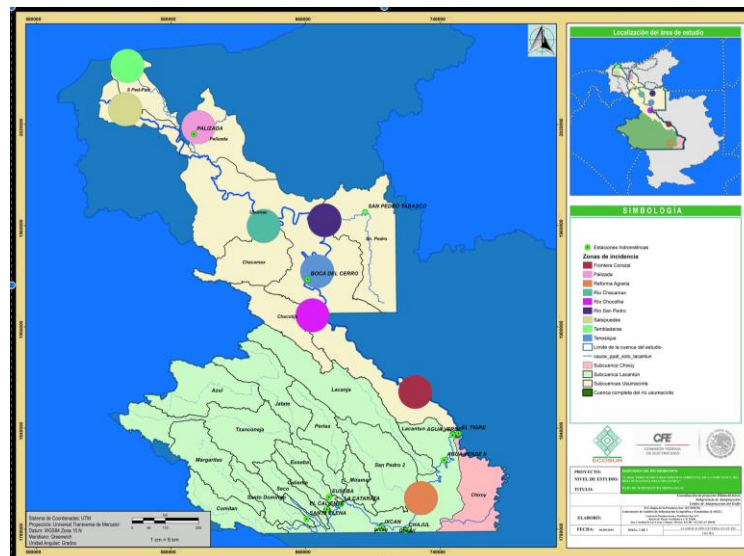


Figura 2. Sitios estudiados y ubicación de estaciones hidrométricas

Se tomó como base las ideas expuestas en CONAGUA (2012) sobre la alteración de los caudales. Para tal efecto se procedió a determinar:



1. El régimen anual de caudales ordinarios estacionales para condiciones hidrológicas húmedas, medias, secas y muy secas.

2. El régimen de avenidas, considerando por lo menos tres categorías; las correspondientes a las intra- anuales, las interanuales de baja magnitud y las interanuales de magnitud media. Estos regímenes se identifican a partir de criterios de magnitud, duración, frecuencia, momento de ocurrencia y tasa de cambio de los eventos hidrológicos registrados, considerando a estos últimos como los pulsos de avenidas que presenta la corriente en estudio. Estas avenidas se definen de la siguiente manera:

2.1 Avenidas intra- anuales. Desde el punto de vista hidrológico, estas avenidas se encuentran definidas, por una magnitud con periodo de retorno de un año. A lo largo del tiempo, pueden ocurrir miles de estas avenidas que mantienen una relación erosión-sedimentación determinada y proveen la dinámica geomorfológica asociada para mantener el cauce activo. Por otra parte, estas avenidas mantienen condiciones de habitabilidad para la biota, y ésta se encuentra biológicamente adaptada o sincronizada a dicha dinámica. Son, además, avenidas que mantienen la conectividad hidrológica longitudinal y provocan el lavado de nutrientes y sedimentos (Junk *et. al.*, 1989).

2.2 Avenidas de máxima eficiencia de activación geomorfológica. Hidrológicamente este grupo de avenidas son interanuales de baja magnitud de caudales con 1.5 años de periodo de retorno. De acuerdo con Leopold *et al.* (1992), debido a la relación magnitud-frecuencia, se definen como las avenidas de máxima eficiencia en la dinámica geomorfológica, por esta razón se les considera como las avenidas que delimitan el cauce activo o “bankfull”. Desde el punto de vista biológico- ecológico, promueven una mayor renovación de hábitat para la biota, también sincroniza los ciclos de vida de los organismos acuáticos, proveen condiciones de conectividad hidrológica longitudinal y lateral al mantener pequeñas inundaciones periódicas que mojan la primera banda de vegetación riparia (generalmente ya con algunas especies características del tipo de vegetación circundante). Esta avenida define la “Ribera Máxima” y es de gran valor debido a que representa el cero (0) de referencia para iniciar las mediciones en campo que conducen a la determinación del tipo de cauce.

2.3 Avenidas inter- anuales de media magnitud. Definidas hidrológicamente por un periodo de retorno de cinco años. Geomorfológicamente son las que tienen mayor capacidad de transporte de sedimentos de los tres tipos de avenidas y son las que definen la planicie de inundación. Biológicamente renuevan hábitat, contribuyen en la dispersión de semillas, proveen conectividad hidrológica longitudinal para la migración de especies y lateral debido a que se alcanzan niveles de inundación para cubrir todas las bandas de la vegetación riparia. Además, estas avenidas delimitan el espacio federal y de mantenerlas, proveen un servicio ambiental muy importante para la gestión de riesgos ante eventos hidrometeorológicos extremos. Ahora bien, de acuerdo con la norma de caudal ecológico NMX-AA-159 SCFI (SE, 2012), para el primer punto se utiliza una aproximación por percentiles que permite diferenciar las condiciones hidrológicas húmedas, medias, secas y muy secas. Los criterios adoptados se indican en el cuadro 1. Esta clasificación permite al mismo tiempo determinar los volúmenes estacionales ordinarios y correspondientes a cada condición hidrológica.

Cuadro 1. Percentiles asociados a cada condición hidrológica
(NMX-AA-159 SCFI-SE, 2012)

Condición hidrológica	Percentil
Régimen de caudales para condición húmeda	75
Régimen de caudales para condición media	25
Régimen de caudales para condición seca	10
Régimen de caudales para condición muy seca	0



El atributo de frecuencia de ocurrencia se establece de acuerdo a la condición ambiental que presente el área estudiada y dependiendo de las condiciones hidrológicas previamente indicadas. En este sentido la cuenca del Usumacinta presenta una importancia ecológica muy alta debido a que en ella todavía existen una o más especies endémicas con relevancia incluso internacional, que se encuentran en algún estado de protección según la NMX-AA-159 y/o en otros listados similares internacionales. Algunas áreas presentan hábitat's únicos por su diversidad y funcionamiento, que mantienen su estructura natural e integridad ecológica asociada a los servicios ecosistémicos que ofrecen y, a pesar de que depende de las aportaciones de ríos que tienen su origen en Guatemala y que éstos están siendo regulados con infraestructura hidráulica (caso del río Chixoy y la presa del mismo nombre), aún es de esperar que presenten condiciones de régimen natural, como se pretende demostrar en este documento. Asimismo, es una cuenca que por su disponibilidad de agua y la relativa poca demanda que se tiene de este recurso, presenta una presión de uso muy baja. Todas estas condiciones se reúnen para plantear la hipótesis de que, en el marco conceptual de la NMX-AA-159, el complejo hidrológico del Usumacinta está formado por subcuencas con un estado de conservación de bueno a muy bueno, con una importancia ecológica de alta a muy alta y con una baja presión de uso del agua, por tanto está clasificada como cuenca con un Objetivo Ambiental tipo A, siendo éste el de mayor importancia según la citada norma (CONAGUA-WWF-FGRA, 2011).

Para la determinación de la magnitud de cada tipo de crecidas se requiere de un análisis probabilístico, típico de las series de caudales máximos registrados. En este caso se aplican distintas distribuciones de probabilidad como son: Gumbel, Log-Person, Log-Normal, etc., y se selecciona la de mejor ajuste o promediando los valores obtenidos. De esta manera se obtiene la magnitud del caudal máximo correspondiente a cada período de retorno y según las categorías de crecidas indicadas en los puntos 2.1, 2.2 y 2.3.

Por lo que toca al atributo de duración, para cada categoría y magnitud, se contabiliza el número de días consecutivos de la serie histórica de caudales en que se rebasa cada umbral de avenidas. De este análisis se obtiene un histograma de frecuencias acumuladas de duraciones para cada umbral. El criterio utilizado en este trabajo consistió en adoptar como duración típica al valor que agrupe el 75% de las frecuencias acumuladas.

Otro instrumento metodológico empleado en el conocimiento de la dinámica natural del río Usumacinta es lo que se conoce como alteración hidrológica. Su objetivo es determinar si existe o no afectación significativa al régimen hidrológico natural debido a la presencia de infraestructura hidráulica o hidroeléctrica. Ya se ha anticipado que el Usumacinta recibe también las aportaciones del río Chixoy. La mayor parte de la cuenca aportadora de esta corriente se encuentra en territorio Guatemalteco, donde se almacenan los escurrimientos para generación de energía hidroeléctrica. Bajo una condición de alteración del patrón de escurrimientos, consecuencia de la construcción de la hidroeléctrica Chixoy, resulta interesante determinar si este afluente ha afectado el régimen natural del Usumacinta. Con este fin, se aplicó el apéndice normativo B, de la NMX-AA-159-SCFI-2012 (SE, 2012). La información necesaria es una serie a escala diaria de al menos 20 años de registro completo de información hidrométrica. De manera práctica, la norma estipula que de la serie histórica disponible, los primeros 20 años de registro se consideran régimen hidrológico natural (RHN) y los últimos 20 años un régimen hidrológico actual y/o alterado (RHA). Para este estudio, se realizó el análisis considerando las series hidrométricas seleccionadas, aunque algunas tienen menos de 40 años de registro; en este caso se dividió la serie histórica considerando los primeros 10 años como el régimen natural y los últimos 10 años como un posible régimen alterado. El procedimiento utilizado en la determinación de la alteración hidrológica consiste en (NMX-AA-159-SCFI-2012, SE, 2012):

- De la serie RHN, calcular para cada mes del año los percentiles 90 (P90) y 10 (P10), tanto mensuales como anuales.
- Se verifica si los caudales del RHA a manera mensual y anual se encuentran contenidos en el régimen de caudal ordinario máximo (P90) y mínimo (P10) sugeridos por el RHN, en donde:
 - Si el régimen actual (RHA) cumple en magnitud mensual y anual más de un 50% con relación al RHN, se considerará hidrológicamente no alterado
 - Si el cumplimiento del régimen actual (RHA) es <50% en su magnitud mensual y anual con relación al RHN, se considerará alterado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La gran cuenca del Usumacinta intercepta los territorios de México, Guatemala y en menor medida al de Belice, el flujo de agua proveniente de las cuencas de Guatemala drena al río Usumacinta a través de los ríos Chixoy, Ixcán, Chajul, De la Pasión y San Pedro, además de otras corrientes menores. De lado mexicano, el Usumacinta es alimentado de manera importante por los ríos Lacantún, Chacamax y Chocalijá principalmente.

A partir de los registros de estaciones hidrométricas del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS, CONAGUA), se puede establecer la forma en que el río Usumacinta es alimentado por sus afluentes principales. Como se muestra en la figura 3, cuyos valores corresponden al caudal medio diario histórico registrados en las estaciones indicadas con su clave, las principales aportaciones en volumen se reciben por margen derecha y provienen de Guatemala.

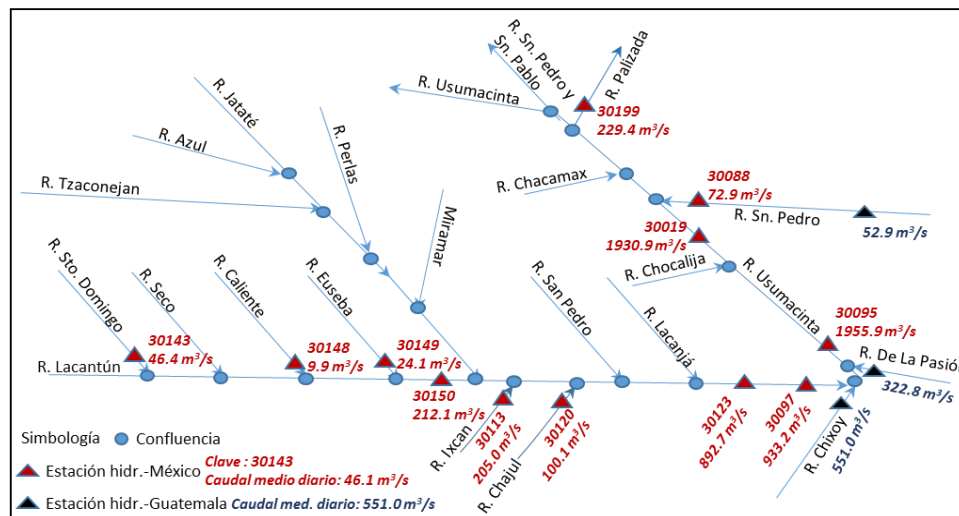


Figura 3. Esquema de conectividad de la cuenca del río Usumacinta

De los 1955.9 m³/s de caudal promedio diario que se tiene reportado en la estación hidrométrica El Tigre (clave 30095), ubicada sobre el río Usumacinta, en la línea fronteriza y aguas abajo de la confluencia de los ríos Lacantún, Chixoy y La Pasión, 1178.9 m³/s se registran como aportación de las cuencas guatemaltecas de los ríos Ixcán (205 m³/s), Chajul (100.1 m³/s), Chixoy (551 m³/s) y De la Pasión (322.8 m³/s). Estos valores indican que hasta el sitio de la hidrométrica El Tigre, los caudales medios del río Usumacinta y por tanto sus ecosistemas acuáticos, dependen en un 60% de los escurrimientos que provienen de las cuencas de Guatemala, sobresaliendo entre ellas y de manera



importante, la cuenca del río Chixoy por la magnitud de sus aportaciones.

El caudal restante, esto es 777 m³/s, es aportación de los ríos Sto. Domingo (46.4 m³/s), Caliente (9.9 m³/s), Euseba (24.1 m³/s), así como la cuenca propia del río Lacantún y la contribución de los ríos San Pedro, Lacanjá y Jataté. Aunque estas últimas aportaciones no están monitoreadas por carecer de estaciones hidrométricas, se puede estimar que una de las más importantes proviene del río Jataté, ya que éste recibe a su vez aportaciones de otras corrientes importantes como son los ríos Tzacanejá, Azul, Perlas y los escurrimientos que se generan en la cuenca propia de la Laguna de Miramar.

En el tramo aguas abajo de la hidrométrica de El Tigre (clave 30095), el caudal del río Usumacinta sufre una ligera disminución a pesar de que recibe la aportación del río Chocalijá, de suerte que de los 1955.9 m³/s registrados en esta estación, el caudal disminuye a 1930.9 m³/s en la estación Boca del Cerro (clave 30019). Esta disminución puede asociarse a la infiltración derivada de los procesos geológicos de formación de La Sierra Lacandón y las tierras aluviales que han sepultado una topografía kárstica subyacente.

Por otro lado, aguas abajo de la estación Boca del Cerro, el río Usumacinta recibe por margen derecha la aportación del río San Pedro, también de origen guatemalteco, con un caudal medio diario de 72.7 m³/s, estimado este último en la hidrométrica San Pedro Tabasco (clave 30088). Por margen izquierda y también aguas abajo de la confluencia del río San Pedro, se suma igualmente las aportaciones del río Chacamax, aunque éstas son una incógnita puesto que no se dispone de estación hidrométrica que las registre. Así, sumando todas las aportaciones anteriores, así como el escurrimiento generado por cuenca propia, se puede estimar que el río Usumacinta registra un caudal medio diario superior a los 2000 m³/s, sin embargo este valor no puede corroborarse con certidumbre al no existir ninguna estación hidrométrica sobre su cauce aguas abajo de la confluencia del río Chacamax. Finalmente, en su tramo final, el Usumacinta se divide en tres brazos, de los cuales se desprende el río Palizada por margen derecha, en este río existe la estación hidrométrica Palizada (clave 30199) en la cual se registra un caudal medio diario de 229.4 m³/s.

En forma sintética se desprende que las cuencas tributarias de los ríos De la Pasión, Ixcán y Chixoy del lado guatemalteco y Jataté del lado mexicano, son las que soportan la mayor parte del caudal que escurre por el río Usumacinta, de suerte que el mantenimiento de los ecosistemas de éste depende en gran medida de lo que ocurra en estas cuencas tributarias.

Por su parte, los análisis de variabilidad del régimen hidrológico fueron realizados para cada una de las estaciones hidrométricas consideradas en el apartado metodológico. Como ya se expuso anteriormente, por razones de espacio, se presenta únicamente los resultados para la estación hidrométrica de Boca del Cerro.

Estacionalidad del régimen hidrológico

La serie de tiempo de la estación hidrométrica Boca del Cerro (figura 4) cuenta con un registro diario desde el 01 Julio de 1948 al 31 de Diciembre de 2011, es decir un período de registro de 64 años, sin embargo entre el 01 de enero al 11 de mayo de 1981, del 26 de febrero al 27 de abril de 1998 y del 01 de enero al 31 de julio de 2009, no se contaron con datos.

Para una condición húmeda (Percentil 75) el río Usumacinta presenta 5 meses de estiaje y 5 meses de crecidas, este último período se extiende de julio a enero inclusive. Para la condición muy seca

(Percentil 0), el período de estiaje cubre todo el año. Estos resultados se presentan en forma de hidrogramas mensuales en la figura 5.

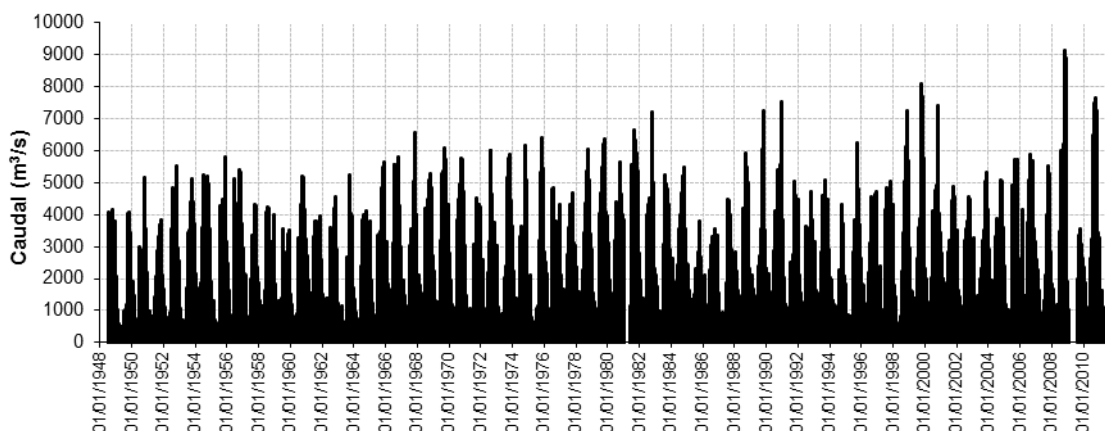


Figura 4. Registro histórico de caudales diarios en la estación Hidrométrica Boca del Cerro

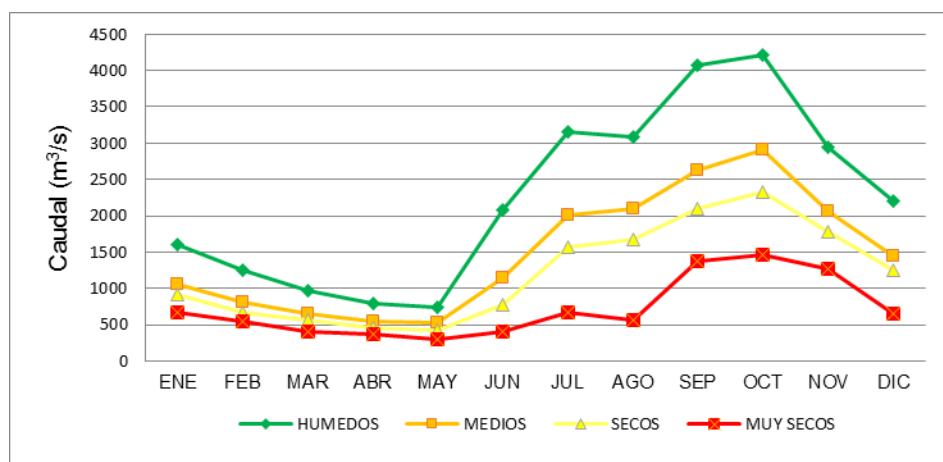


Figura 5. Caudales ordinarios estacionales en la estación hidrométrica Boca del Cerro

Características del régimen de avenidas

Por lo que toca al régimen de crecidas, el caudal de la avenida típica representativa de una variación intra-anual, es decir con un período de retorno de 1 año, resulta de 3830 m³/s. Para una condición inter-anual, es decir con un período de retorno de 5 años, este valor se incrementa a 6420 m³/s.

Por otra parte, la duración representativa de la avenida para la categoría 1 de período de retorno (1 año) resultó de 204 horas (8.5 días), para la categoría II (1.5 años) es de 240 horas (10 días) y para la Categoría III (5 años) 288 horas (12 días). De acuerdo al criterio metodológico empleado, estas duraciones ocurren al menos en el 75% de las veces, lo que se muestra gráficamente en la figura 6.

En relación al momento de ocurrencia, se puede señalar que para las tres categorías, las crecidas ocurren al menos en el 84% de las veces durante los meses de julio a octubre. Este resultado cambia cuando el período de retorno se eleva a 5 años, ya que en este caso el 93% de las veces la crecida máxima ocurre entre agosto y noviembre.

En conclusión, la variabilidad del régimen de crecidas muestra que los caudales máximos para períodos de retorno de 1, 1.5 y 5 años alcanzan los 3830, 4985 y 6420 m³/s, con duraciones típicas de 204, 240 y 288 horas respectivamente.

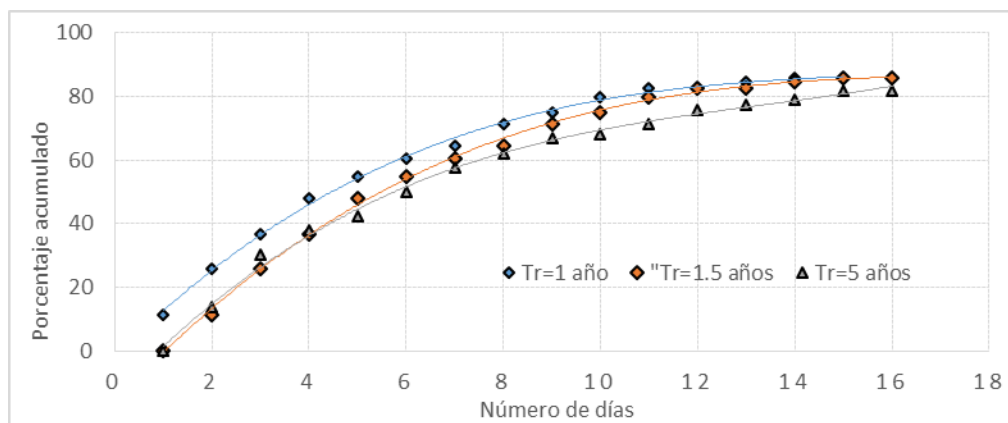


Figura 6. Duración de avenidas para distintos períodos de retorno con datos de la estación hidrométrica Boca del Cerro

Alteración hidrológica

En este caso, el cálculo de percentiles indica el mismo comportamiento entre la serie considerada como “natural” (1948-1977) y la serie adoptada como “actual” (1978-2011), esto significa que el régimen se clasifica como No Alterado toda vez que los valores medios se ubican entre los percentiles P10 y P90. En la figura 7 se muestran estos resultados para un intervalo de tiempo mensual.

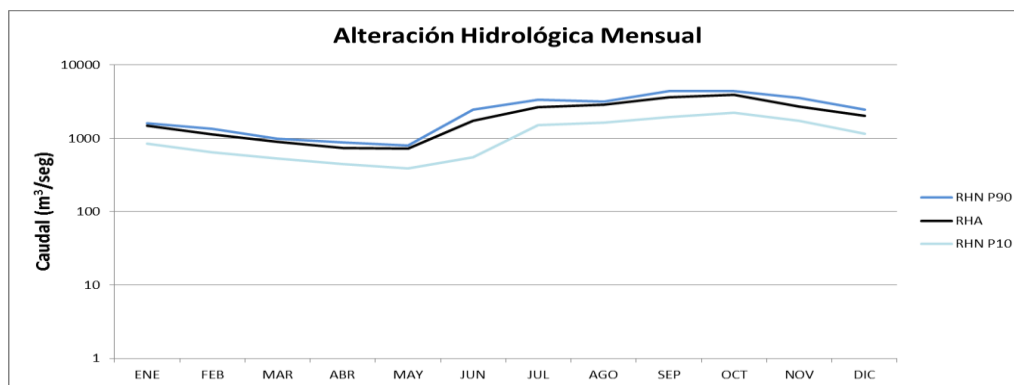


Figura 7. Alteración hidrométrica en la estación Boca del Cerro

CONCLUSIONES



La cuenca del río Usumacinta es sin duda una de las que tiene mayor relevancia desde el punto de vista ambiental, biótico e hidrológico. La abundancia del recurso hídrico, su biodiversidad e importancia ecológica, aunado a sus características topográficas y orográficas, entre otros factores, hacen de esta región una de las más importantes del país. A manera de conclusión, los resultados de este trabajo permiten afirmar que:

- a. A pesar de que algunos de sus afluentes provenientes de Guatemala están siendo regulados para generación de energía eléctrica, en el momento actual, el río Usumacinta mantiene todavía condiciones de flujo No Alterado.
- b. La salud y resiliencia de sus sistemas acuáticos naturales depende en gran medida del mantenimiento de la variabilidad hidrológica de sus caudales.
- c. La calidad ecológica que aún mantiene obliga a llevar a cabo un programa permanente de monitoreo ambiental a través de distintos indicadores biológicos y ecológicos que permitan evaluar en el tiempo, la salud ambiental e integridad ecológica de toda la cuenca.
- d. Cualquier iniciativa de aprovechamiento del agua en esta cuenca debe incorporar la necesidad de mantener el régimen de flujo en condiciones naturales, principalmente los atributos de sus regímenes de avenidas (magnitud, frecuencia, duración y tasas de cambio).

LITERATURA CITADA

- **Arthington A. H.**, 1997. Wounded Rivers, Thirsty Land: Getting Water management Righth. Inaugural Professorial Lecture, Griffith University, Queensland. (trabajo citado por Martínez y fernandez, 2006).
- **CONAGUA**. Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI “Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas”. 2012. [Consultado el 16/08/2015]. <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2010/nmx-aa-159-scfi-2012.pdf>.
- **CONAGUA**. Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales- BANDAS. [Consultado el 14/08/2015]. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>.
- **CONAGUA-WWF-FGRA**. 2011. Identificación de reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México. México. [Consultado el 10/01/2016].
- <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGT-3-11Media.pdf>.
- **Horton R. E.** Erosional Development of stream and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Amer. Bull. 1945; No. 56: 275-370.
- **Junk W. J., Bayley P. B., Sparks R. E.** The flood pulse concept in river-floodplain systems. En Dodge DP (Ed.) *Proc. Int. Large River Symposium*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 1989; 106: 110-127.
- **King J.M, R.E. Tharme, and M.S. de Villeers** Editors. Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology. Water Research Commission Report No.: TT 131/00. Freshwater Research Unit, University of Cape Town, South Africa; 2000.
- **Leopold L. B., Wolman G. M., Miller J. P.** Fluvial Processes in Geomorphology. Dover Earth Science. 1992.
- **Martínez S. C, Fernández Y. J. A.**, 2006. El régimen natural de caudales: una diversidad imprescindible, una diversidad predecible. Invest Agar: Sist Recr For (2006) Fuera de Serie, pp. 153-165.
- **Sánchez N. R., Barrios O. E.**, 2011. Caudal ecológico: propuesta metodológica. Ejemplo de caso río San pedro Mezquital, Marismas Nacionales, nayarit, en De la Lanza E. G., Hernández P. S. (compiladores), *Ambiente, biología, sociedad, manejo y legislación de sistemas costeros*



mexicanos. Plaza y Valdés Editores, pp. 437-467.

- **Sakaris P. C.** A review of the effects of Hydrologic alteration on fisheries and biodiversity and the management and conservation of natural resources in regulated river systems. En Current perspectives in contaminant hydrology and water resources sustainability. Edited by Paul M. Bradley. INTECH. 2013: 273-297.
- **Strahler, A.** Geografía Física. Edit. Omega, Barcelona. 1974.



Extenso ID: 367. A. Muñoz- Hernández, Alex Mayer, E. Vivoni y A. Robles-Morua. DESARROLLO DE UN MODELO INNOVADOR ENTRE EL NEXO ENERGÍA-AGUA-ALIMENTOS EN SONORA: EL CASO DEL ACUEDUCTO INDEPENDENCIA

[Regresar al índice](#)

Lake Superior State University, Michigan Technological University, Arizona State University y Technological Institute of Sonora

Resumen

Es ampliamente conocido el nexo existente entre el agua, la energía y los alimentos (Food-Energy-Water o FEW por sus siglas en inglés). Estos nexos son más evidentes en la porción oeste del estado de Sonora, México, donde la dotación de agua tanto para consumo agrícola como para consumo doméstico, presenta retos, especialmente relacionados al clima cálido y variable de esta región. Estos retos se han ido agravando recientemente con la construcción de un acueducto nuevo, popularmente conocido como Acueducto Independencia. Este acueducto, transfiere agua de una cuenca enfocada principalmente a la producción agrícola, a otra cuenca que está enfocada principalmente al uso doméstico.

En este trabajo se ha desarrollado un modelo integral FEW que incluye varios sub-modelos enfocados a la estimación de agua, generación y consumo de energía eléctrica, así como también de producción agrícola. En la cuenca que se encuentra dominada por la producción agrícola, el rendimiento de sus cultivos está íntimamente relacionado a la disponibilidad de agua de sus presas, las cuales a su vez, dependen del clima de la región y de las transferencias de agua entre las dos cuencas. Así mismo, el consumo de agua en la cuenca que está dominada por el uso doméstico, depende del clima, de las transferencias de agua, así como también de los niveles freáticos asociados con los acuíferos locales.

Introducción

El consumo de energía eléctrica está ligado a la intensidad de las extracciones del agua subterránea para el consumo doméstico y agrícola, así como también de la cantidad que es transferida entre las cuencas. La generación de energía hidroeléctrica en la cuenca agrícola también se encuentra limitada por las transferencias de aguas de una cuenca a la otra, ya que el agua que se transfiere viene de la misma presa en la cual se produce energía eléctrica. La generación de escurrimientos superficiales, los niveles de almacenamiento de las presas, así como también las diferencias en el nivel freático son simulados a través de una combinación de varios modelos de simulación que se encuentran interconectados. Algunos de estos modelos son distribuidos y otros agregados. La generación de energía eléctrica, así como la producción agrícola del área están también estimados en estos modelos de simulación. Finalmente, en este trabajo se exploran diferentes FEW alternativas basados en la variación de la cantidad del agua transferida usando diferentes escenarios climáticos y de demanda.



IV CONGRESO
NACIONAL

**MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Mesa 2. Programas de PSA a nivel de cuenca: mecanismos de evaluación y fortalecimiento a nivel de cuenca.



Extenso ID: 33. Socorro Menchaca Dávila^a, Karina Zapata Cuellar^b PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES DESDE LA PERCEPCIÓN CIUDADANA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, VERACRUZ, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

^a Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, email: Socorro.menchaca@gmail.com

^b Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana, geografakarinazapata@gmail.com

RESUMEN

Con base en la medición de la percepción de los habitantes de distintas localidades de la microcuenca del río Pixquiac, se desarrolla el análisis y seguimiento de la política pública de Pago por Servicios Ambientales (PSA). Dicha política, se midieron los siguientes aspectos relacionados con la percepción sobre: el cuidado, conservación y tala del bosque; sobre el programa de PSA; así como sobre la gestión gubernamental sobre el cuidado del medio ambiente. La valoración se desarrolló bajo el enfoque de cuencas, por lo que se delimitó a la microcuenca por zona alta, media y baja, las que comprenden los municipios de Acajete, Coatepec, Perote y Tlalnahuayocan.

Cabe señalar, que la importancia ambiental de esta microcuenca radica en el papel que tiene la conservación de la diversidad biológica de la región, ya que, por ejemplo, en la zona media se encuentran extensos fragmentos de bosque mesófilo de montaña, conocido como bosque de niebla, ecosistema que está amenazado en Veracruz y a nivel nacional; además, de la relevancia que tienen los servicios ambientales ecosistémicos conexos al agua, mismos que aportan una importante cantidad de agua para el consumo humano de los habitantes de la región.

La valoración de la percepción de los habitantes en relación al pago por servicios ambientales, permitió conocer aspectos fundamentales sobre la eficiencia de dicha política pública en la microcuenca en general, así como en las tres zonas de manera diferenciada; además de subrayar la importancia que tiene, como un instrumento útil, el considerar e incluir las distintas posturas de los actores sociales que habitan dicha región, para redefinir las políticas públicas, estrategias y acciones, lo que puede contribuir a resolver los múltiples problemas de carácter antrópico; así como definir y desarrollar medidas de restauración y/o mitigación, de acuerdo a la percepción de los habitantes de la región, mismas que pueden servir para la conservación del funcionamiento de los ecosistemas, y los servicios ambientales de la región, bajo el enfoque de cuencas.

Palabras clave: Desarrollo sustentable, pago por servicios ambientales, geografía de la percepción, políticas públicas.

1 INTRODUCCIÓN



Las diversas funciones de los ecosistemas expresadas en los servicios ambientales tanto de los bosques, como de las cuencas hidrológicas son las que sostienen la vida en la Tierra; además, son la base del desarrollo de países y regiones del mundo, por lo que todas aquellas políticas, estrategias y/o acciones que promuevan su cuidado o conservación para disminuir los impactos y afectaciones por las actividades humanas, son de alta relevancia, y por lo mismo, es necesario que sean evaluadas y/o se establezcan procedimientos de seguimiento para medir su eficiencia, ya que las afectaciones a dichos servicios ambientales ponen en riesgo el bienestar de los seres humanos.

Se puede establecer, que la sociedad le confiere al Estado y/o gobiernos la responsabilidad de implementar un conjunto de acciones en el marco de los ámbitos social, económico y ambiental, para regular las relaciones entre las naciones, individuos y/o sociedad, entre otros aspectos; estas acciones y/o estrategias integran las llamadas políticas públicas (Menchaca *et al*, 2015). De tal manera, las políticas públicas son parte fundamental del quehacer del gobierno, es decir, son actividades materiales o simbólicas que gestionan las autoridades públicas, siendo éstas los principales actores. Otra forma de definir a las políticas es la que establece que son un conjunto de decisiones cuyo objeto es la distribución de determinados bienes o recursos. Las políticas públicas son la forma como se le da coherencia, integralidad y sustentabilidad a las decisiones y acciones de los gobiernos (Muller, 2007).

En síntesis, se establece que las políticas públicas son una concatenación de actividades, decisiones o medidas coherentes por lo menos en su intención, que son tomadas principalmente por los actores del sistema político-administrativo de un país, con la finalidad de resolver un problema colectivo. Estas decisiones dan lugar a actos formalizados, de naturaleza más o menos coercitiva, con el objetivo de modificar el comportamiento de grupos, los cuales se encuentran supuestamente en el origen del problema por resolver (Larrue, 2000).

La política pública de interés aquí, es el pago por servicios ambientales y se estudia mediante su evaluación y/o seguimiento mediante la percepción ciudadana en el contexto local donde ésta se implementa. Dicha política pública, en México se dirige principalmente a canalizar recursos económicos a los dueños de la tierra o predios forestales, con el propósito de compensar los costos de la conservación y las buenas prácticas de manejo de los bosques (CONAFOR, 2010). Esto como una medida de mitigación a la degradación ambiental, producida por el factor antrópico que se genera principalmente por el cambio de uso de suelo, la deforestación y la venta de madera ilegal, entre otros. Es por esta situación que han surgido políticas como el pago por servicios ambientales, las que están enfocadas a la atención o solución de dicha problemática ambiental. Cabe señalar, que el pago por servicios ambientales se ha implementado en México desde el año 2001 en el municipio de Coatepec, en donde participan habitantes de algunos otros municipios y localidades de la microcuenca del Pixquiac.

El objeto de estudio de la presente investigación es conocer ¿cuál es la percepción de los habitantes de la microcuenca del río Pixquiac, respecto a la política de pago por servicios ambientales? Se señala que medir la percepción, en dicho ámbito, puede resultar una herramienta útil para la evaluación y/o



seguimiento de políticas, estrategias, acciones, eventos, situaciones, etc. Esto puede ayudar a disminuir los problemas ambientales en dicho contexto.

Respecto a lo anterior, se establece que el comportamiento del hombre, está determinado por cómo percibe su entorno, lo que es estudiado por la geografía de la percepción también conocida como geografía del comportamiento. Esta es un área poco estudiada y surge como una de las múltiples respuestas ante la necesidad de explicar la relación entre el hombre y el medio ambiente, misma que se fundamenta en la percepción psicológica del medio a través de los sentidos y en el comportamiento de la sociedad mediante el estudio de su conducta en el espacio (Santarelli & Campos, 2002, citado por Nogué & San Eugenio, 2009).

De acuerdo con (Vara, 2010), la mente del hombre, donde tiene lugar la percepción, la formación de la imagen y la decisión, se convierte en un campo nuevo de investigación geográfica, y es allí donde se debe investigar para comprender con mayor amplitud, la acción del hombre sobre el medio que lo rodea. El espacio geográfico debe considerarse como un conjunto indisociable en el que participan, elementos geográficos, naturales, así como la sociedad en movimiento. En este lugar se llevan a cabo los procesos espaciales producto de las relaciones sociales, económicas y ambientales; además dicho espacio también es mental, en la medida en que los individuos lo perciben, imaginan y valoran de modos diversos, estas percepciones y valoraciones subjetivas también condicionan la relación con el espacio (Santo, 1998; Tibaduiza, 2007). Para realizar los estudios de percepción geográfica, han utilizado una serie de técnicas proyectivas psicológicas, como los mapas mentales y técnicas del ámbito de las ciencias sociales como son las encuestas (Pillet, 2004). La medición sobre lo que los seres humanos perciben y opinan, representa una herramienta útil para valorar cómo ocurren o pueden ocurrir los fenómenos o eventos naturales, sociales o económicos, en el presente o futuro, ya que la información que se procesa mediante procesos cognitivos, es interpretada con un nivel aceptable de confiabilidad, por lo que es muy útil para la valoración de problemáticas socio-ambientales.

Además de lo expuesto, y de acuerdo con Vara (2010, Pág. 34), “Todo espacio es subjetivo, porque siempre hay un sujeto individual o colectivo que lo percibe y lo representa (Lacoste, 2003); todo espacio tiene un valor político (Colavidas, 2000). Por eso el espacio y/o territorio, que siempre es único y subjetivo, puede ser estudiado tanto desde la geografía de la percepción como desde la geografía social y política (Gómez Piñeiro, 2002)”. Con base en lo anterior, se señala nuevamente, que los estudios de percepción son herramientas útiles para la valoración y el seguimiento de las políticas públicas como es la de pago por servicios ambientales.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización de la zona de estudio

El río Pixquiac, nace en la vertiente nororiental del Cofre de Perote, a una altura de 3760 metros sobre el nivel del mar, y se une con el río Sordo a 1030 msnm, punto en el que queda limitada la microcuenca superficial del río Pixquiac, para fines de estudio. Abarca parcialmente los territorios municipales de Perote, Las Vigas de Ramírez, Acajete, Tlalnahuayocan y Coatepec (Menchaca *et al*, 2015). Según la regionalización paisajística del Estado de Veracruz, la microcuenca se encuentra



dentro de la provincia centro- norte del estado de Veracruz (Geissert, 1999); siendo sus principales tributarios el mismo Pixquiac (corriente principal), Huichila, Agüita fría, Xocoyolapan y Atopa.

Esta microcuenca tiene una importancia particular para la conservación, de acuerdo a la diversidad biológica y paisajística, ya que hacia la zona media se encuentran extensos fragmentos de bosque mesófilo de montaña también conocido como bosque de niebla, ecosistema amenazado en Veracruz y a nivel nacional. Hacia la parte alta de la microcuenca, arriba de los 2,400 msnm, domina el ecosistema boscoso de clima templado y frío, tales como el bosque de pino-encino y pinares de altura (Paré *et al*, 2008). Cabe señalar que de acuerdo con Vidriales (*et al*, 2010), la cobertura vegetal en la microcuenca puede ser frágil ante la presión de los procesos que impulsan los cambios de uso del suelo en bosques y cafetales. Estos procesos responden a la expansión de la mancha urbana, sobre todo en la zona baja; y a una fluctuante expansión/reducción de parcelas agropecuarias que responden a variaciones en los precios de los productos (papa, leche, caña, café), situación que es de índole económica ya que conlleva al desarrollo de cambios en el sistema de paisaje, y con ello al impacto sobre elementos directos como son el uso de suelo y vegetación.

En cuanto a los datos socioeconómicos, se establece por principio que, en la zona alta del Pixquiac se ubican siete localidades con apenas una población total de 460 habitantes. En la zona media se encuentran ubicadas 15 localidades con una población total de 1047 habitantes; y la zona baja, que es la zona con mayor densidad de población ya que concentra 43 localidades con un total de 8146 habitantes, esto de acuerdo al censo poblacional de INEGI 2010. En relación con lo anterior, se tiene que la microcuenca del río Pixquiac cuenta con una población total de 9653 habitantes. Las localidades con mayor número de habitantes son: La Orduña con 1551 (municipio de Coatepec), El Grande con 942 (municipio de Coatepec) y Rancho Viejo (municipio Tlalnahuayocan) con 786 habitantes.

Las condiciones de vida entre las comunidades urbanas y rurales distan mucho de ser equitativas, las condiciones de marginación predominantes en la zona alta y media, han provocado prácticas de uso del suelo incompatibles con la conservación de los bosques. Entre estas prácticas se encuentran la tala de los bosques para la extracción de madera con diversos usos: madera de cimbra (para construcción) producción de carbón para fines de mercado y en el auto abasto de leña (Manson, 2004).

Las principales actividades económicas que se desarrollan son las actividades agropecuarias que consisten en la siembra de cultivos para autoconsumo o comercialización, cabe señalar que de acuerdo con Menchaca & Alvarado (2011, pág. 95) “La actividad agrícola requiere de una atención inmediata, en cuanto al tipo de producción que se lleva a cabo en la microcuenca, ya que ésta es la actividad que tiene mayor número de impactos irreversibles; es decir, que es imposible que el ecosistema pueda recuperar sus características originales sin necesidad de la intervención del hombre”. Otra de las actividades económicas que se registra en la microcuenca, es la cría de especies ganaderas, principalmente ganado bovino. En la zona alta y media de la microcuenca algunos habitantes se emplean en el cuidado forestal. En la región también se desempeña la actividad de acuacultura, principalmente en localidades pertenecientes al municipio de Tlalnahuayocan. El desarrollo industrial es incipiente, y se ubica en la zona baja en localidades como La Orduña (Alvarado, 2010).

2.2 Metodología

La microcuenca del Río Pixquiac es una fuente importante de agua dulce superficial que presta servicios ambientales a la capital del estado de Veracruz, así como a los municipios y localidades que la integran; además, brinda servicios ambientales como la regulación del ciclo hidrológico, el mejoramiento de la calidad de agua disponible para los distintos usuarios del recurso hídrico, el control de la erosión del suelo y la sedimentación, entre otros, (Menchaca & Alvarado, 2011), lo que subraya



la importancia de desarrollar políticas que permitan la conservación y/o protección del ecosistema y los servicios ambientales. Con base en lo anterior, se establece como propósito general de investigación identificar la percepción de los habitantes de la microcuenca del río Pixquiac, respecto al pago por servicios ambientales en los ámbitos de la percepción sobre los siguientes ámbitos: el cuidado, conservación y tala del bosque; sobre el programa de PSA; así como aspectos relativos a la gestión gubernamental sobre el cuidado del medio ambiente.

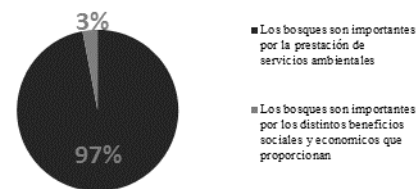
El procedimiento de investigación en términos generales fue el siguiente: determinación de la zona de estudio, sus características y cálculo de muestra; elaboración de instrumentos y trabajo de campo; codificación, sistematización de los datos y análisis estadístico; análisis de resultados y conclusiones. En lo específico, para la aplicación del cuestionario de percepción se seleccionaron nueve localidades en la microcuenca del Pixquiac: tres por cada una de las zonas, es decir, alta, media y baja. Para la selección de la muestra se tomó en cuenta las localidades con las siguientes características: mayor número de habitantes de acuerdo al censo poblacional 2010 de INEGI; la cercanía con los cuerpos de agua; y el fácil acceso a las localidades. El cálculo de la muestra (n) se obtuvo para cada zona: en la alta la muestra fue de 15 cuestionarios, considerando un error máximo del 9.9%, con un nivel de confianza (Z) del 93%. Las localidades visitadas fueron: Ingenio del Rosario, Mesa de Laurel y Tierra Prieta. Para la zona media, la muestra fue de 15 cuestionarios, con un error máximo de 10.4% y un nivel de confianza de (Z) del 95%. Las localidades visitadas fueron: Vega de Pixquiac, Cinco Palos y Tejocotal. Mientras que para la zona baja la muestra fue de 15 cuestionarios, con un error máximo del 17% y un nivel de confianza del 85%. Las localidades que se tomaron en cuenta para realizar el estudio fueron: Rancho Viejo, Los Capulines, y La Orduña.

3. RESULTADOS

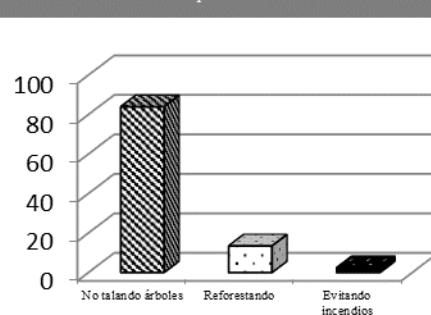
El Pago por Servicios Ambientales (PSA), se midió con base en indicadores que miden la percepción de los habitantes de las localidades, en relación con los siguientes aspectos: percepción sobre el cuidado del bosque, percepción sobre el PSA y percepción sobre la gestión gubernamental sobre el cuidado del medio ambiente, lo que se presenta a continuación:

Con respecto al cuidado de los bosques, se registró que el 97% de los habitantes de la microcuenca, consideran importante cuidar los bosques, debido a los servicios ambientales que proporcionan, como son agua y oxígeno, es decir, son conscientes de la importancia que tiene el medio ambiente; el 3% de los encuestados contestó que es importante cuidar estos ecosistemas por los distintos beneficios sociales y económicos, es decir, este porcentaje de la población tiene una visión económica sobre los recursos naturales.

Gráfica 4.1 Percepción ciudadana de los habitantes de la microcuenca del Pixquiac del cuidado de los bosques.



Gráfica 4.2 Forma de conservación de los bosques de acuerdo a la percepción de la población en la microcuenca del río Pixquiac.

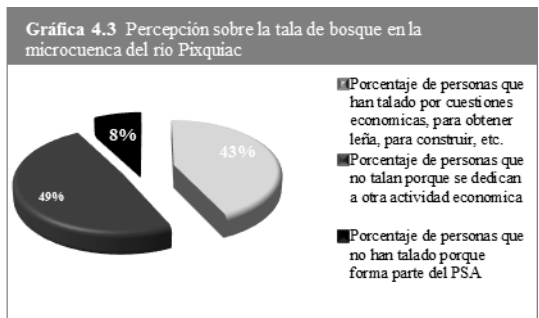


De acuerdo a García, et al (2007), se deben establecer programas de PSA que promuevan la conservación de las zonas boscosas, particularmente aquellas que se encuentran en zonas montañosas, pues se caracterizan por su fragilidad ecológica y por los altos

índices de marginación de sus habitantes. Este hecho es perceptible en la microcuenca del río Pixquiac, pues en la zona alta de la microcuenca, es donde se concentra áreas de bosque mesófilo de montaña, aún conservadas. Sin embargo la población que habita en esta zona carecen de los servicios básicos, y su ingreso mensual, es de entre \$300.00 a los \$1000.00 mensuales, es decir, esta población percibe un ingreso menor al salario mínimo, lo que hace evidente que la pobreza puede ser un factor relacionado con la sobreexplotación de los recursos naturales.

Respecto a las formas de conservación de los bosques, se registró que el 84% de los habitantes considera que la mejor forma de conservación es evitando la tala; el 13.5% reforestando las áreas verdes; y sólo un 2.5% de los habitantes considera que evitando incendios; esta última respuesta se obtuvo en la zona alta, en la localidad de Vega de Pixquiac, dónde de acuerdo a la información proporcionada por los habitantes, ya se han presentado incendios. Con relación a lo anterior se puede inferir que la percepción de los habitantes se articula con la necesidad de conservar los recursos forestales; y también se encuentra ligada a sucesos catastróficos como los incendios en áreas boscosas (gráfica 4.2).

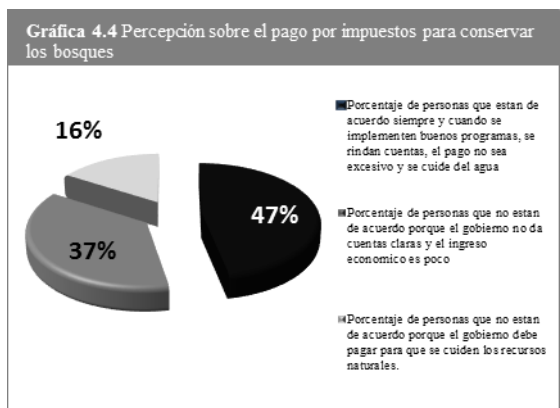
Con relación a si los habitantes han talado árboles, se registró que el 49% de los habitantes afirmó que en su localidad no se han talado, puesto que las personas se dedican a actividades económicas distintas a las forestales. Sin embargo, el 43% de la población contestó que han talado bosques, para obtener algún ingreso económico, Sólo el 8% de la población contestó que no está permitida la tala y forman parte del Programa de Pago por Servicios Ambientales (Gráfica 4.3).



Los habitantes que aseguraron haber talado, se debe principalmente a cuestiones económicas, pues venden la madera. De acuerdo a la información proporcionada por los habitantes, un árbol se llega a vender hasta en \$800.00 pesos. Además de la venta de madera, los pobladores también obtienen leña para la construcción de sus viviendas, o para el uso de fogones, esta situación se presentó hacia la zona alta y media de la microcuenca, puesto que un gran número de habitantes no cuentan con estufas de gas sino de leña.

Es importante señalar, el hecho de que los beneficiarios del PSA, expresaron de manera constante quejas por la falta de apoyos por parte de la institución responsable del programa, puesto que en varias ocasiones éstos no son entregados en las fechas establecidas; esta situación genera molestia y/o inconformidad así como desconfianza en el trabajo que realiza el gobierno. Y también, que se considera que bajo el porcentaje de beneficiarios del PSA.

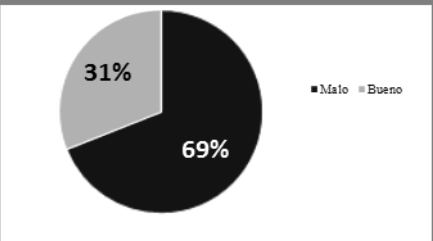
En relación a la percepción sobre el pago por servicios ambientales, se registró que, el 47% de los habitantes, estaría de acuerdo en pagar un impuesto para que el gobierno cuide y conserve los bosques de la región, los anterior, siempre y cuando ese dinero se emplee en crear programas eficientes y se rindan cuentas claras; que el pago no sea excesivo y sirva para el cuidado del agua.



El 37% de los habitantes no pagaría un impuesto para el cuidado y conservación de los bosques, como es el PSA, esto como consecuencia de la falta de confianza en el gobierno; el restante 16% contestó que el gobierno es la institución que debe pagar a los habitantes que poseen los recursos naturales; y así se generen más fuentes de trabajo y no se vean en la necesidad de desmontar estas áreas (gráfica 4.4).

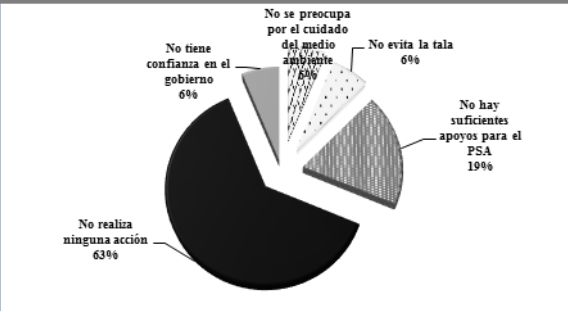
Con relación a la percepción sobre la gestión gubernamental en el cuidado del medio ambiente, el 69% de los habitantes, califica como malo o deficiente el trabajo que realizan las dependencias gubernamentales en cuanto al cuidado del medio ambiente, el restante 31% de los habitantes aseguró que el trabajo del gobierno es bueno (gráfica 4.5).

Gráfica 4.5 Percepción ciudadana del trabajo del gobierno en el cuidado del medio ambiente



Del total de los habitantes que califican como malo o deficiente el trabajo del gobierno en el cuidado del medio ambiente, encontramos que el 63% aseguró que en su localidad no se realiza ninguna acción; el 19% de los encuestados comentó que no hay suficientes apoyos en el programa PSA; y que este programa sólo beneficia a una minoría. Otras respuestas, establecen que el gobierno no se preocupa por el cuidado del medio ambiente (6%); no evita la tala (6%); y no tiene confianza en el trabajo del gobierno (6%) (gráfica 4.6). Respuestas que se consideran significativas, ya que pueden ser la base para diseñar y establecer una nueva cultura local, comunitaria que permita el cuidado, y por ello, la conservación de los recursos naturales de los ecosistemas y los bienes y servicios ambientales de la microcuenca del río Pixquiac.

Gráfica 4.6 Respuestas más frecuentes que califican como malo el trabajo del gobierno en el cuidado del medio ambiente, en el Pixquiac



4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los ecosistemas y sus servicios ambientales, son vitales para la vida de la Tierra y de los seres humanos, así como para la producción de bienes y servicios. No obstante a lo anterior, la población que habita la microcuenca del río Pixquiac, percibe que la política de Pago por Servicios Ambientales (PSA), no ha logrado cumplir eficientemente con el propósito de conservar los predios forestales, para mitigar las afectaciones antrópicas a los ecosistemas.

Es importante señalar, por una parte, que la mayoría de los entrevistados perciben la importancia del cuidado de los bosques, ya que el bienestar del ser humano está estrechamente relacionado con los recursos naturales y los servicios ambientales; y por la otra, se reconoce que existe un avance en los programas de gobierno al destinar recursos a la política gubernamental de pago por servicios ambientales, sin embargo, la población tiene la percepción que en ocasiones, las estrategias y/o acciones de dicha política, no responden plenamente a las lógicas y necesidades de las comunidades para la conservación eficiente de los ecosistemas y los recursos naturales, ya que:

1. Para la población en condiciones de pobreza extrema, es decir, aquella que no cuenta con el salario mínimo (como es el caso de la mayor parte de los entrevistados), el monto otorgado por el pago por servicios ambientales, no es suficiente para ayudar a cubrir sus necesidades básicas, por lo que en



ocasiones recurren a la tala clandestina de los recursos forestales, para obtener ingresos económicos ante la crisis que enfrenta el país, especialmente en zonas rurales. Aunado a lo anterior, todavía son pocos los beneficiarios del PSA; y los apoyos económicos no son entregados en el tiempo establecido por las instancias gubernamentales, lo que genera molestia, inconformidad y falta de confianza hacia la dependencia gubernamental encargada de dicha política. Debido a que esta problemática es de carácter complejo, ya que implica la relación del individuo y/o sociedad con el medio ambiente, se considera que se deben establecer otras estrategias que coadyuven a la política del PSA, como puede ser el aumento de las cuotas otorgadas a los beneficiarios, lo que se asocia a que un número importante de las personas entrevistadas, están de acuerdo con pagar impuestos, con el propósito de conservar los bosques; también se puede desarrollar programas de manejo forestal comunitario, en donde se diversifiquen las formas de aprovechamiento del bosque bajo prácticas sustentables, ámbito en donde se tienen experiencias exitosas en México; así como el desarrollo de programas de difusión del PSA para que aumente significativamente el número de participantes, y con ello propiciar, que la comunidad se dirija a la construcción de una cultura para la protección de los recursos naturales, entre otras.

2. Por otra parte, la percepción sobre la gestión gubernamental en relación al cuidado del medio ambiente, cuestión que está asociada con el PSA, un alto porcentaje de los entrevistados lo considera como malo y/o deficiente. Las razones de la población de la microcuenca en cuanto a dicha percepción son las siguientes: las dependencias gubernamentales no realizan ninguna acción, lo que puede denotar que la política de PSA, no les parece relevante o que no la conocen; que el gobierno no está apoyando o desarrollando acciones significativas, no obstante que el cuidado al medio ambiente en dicha región, tiene una especial importancia por los servicios ambientales ecosistémicos que brinda, entre otros aspectos. También se percibe, como se ha mencionado arriba, que el apoyo económico del PSA no es suficiente; que no hay confianza en el gobierno; que las dependencias gubernamentales no se preocupan por el medio ambiente, ya que por ejemplo, no se establecen medidas efectivas para evitar la tala clandestina en los bosques. Lo anterior, establece la necesidad de evaluar de manera permanente el desarrollo del PSA, en el país no hay una cultura de evaluación y seguimiento de las políticas, lo que impide identificar los problemas que dificultan su eficiencia y el desarrollo de nuevos escenarios de conservación de los bosques y sus servicios ambientales, los que pueden diseñarse y desarrollarse bajo enfoques de gobernanza regional comunitaria, en donde todos los sectores involucrados participen deliberando y desarrollando propuestas que mantengan la sostenibilidad natural, la resiliencia de los territorios naturales.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la comunidad que vive en la microcuenca del río Pixquiac, a todos los informantes, por su valiosa colaboración para el desarrollo de esta investigación.

6. LITERATURA CITADA

- Alvarado, E.L. (2010). *Agua: efectos provocados por las actividades antropogénicas en la microcuenca del río Pixquiac. Tesis*. Xalapa, Veracruz: Universidad Veracruzana.
- CONAFOR. (2010). *Servicios ambientales y cambio climático*. Coordinación General de Producción y Productividad. México.
- García, I., Martínez, A., Ramírez, A., Niño, A., Rivas, A., & Domínguez, L. (2007). La relación agua-bosque: delimitación de zonas prioritarias para pago de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca del río Gavilanes, Coatepec, Veracruz. En H. Cotler, *El manejo integral de cuencas en México* (págs. 113-130). México: SEMARNAT.



- Geissert, D. (1999). Regionalización geomorfológica del Estado de Veracruz. *Investigaciones Geográficas*, 23-47.
- Larrue, C. (2000). *Analyser les politiques publiques d'environnement*. L'Harmattan. París.
- Manson, R. H. (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques en México. *Madera y Bosques* 10(1), 3-20.
- Menchaca, S. & Alvarado, L. (2011). Efectos antropogénicos provocados por los usuarios del agua en la microcuenca del río Pixquiac. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 85-96.
- Menchaca, S., Alvarado, E., Zapata, K. & Pérez, M. (2015). Construcción del riesgo por contaminación del agua y el principio de precaución. En *Derecho y gestión del agua*. Ubijus Editorial. México.
- Muller, P. (2007). *Ensayos sobre Política Pública*. Bogotá: Editorial Universidad Externado.
- Nogué, J., & San Eugenio, J. (2009). Pensamiento geográfico versus teoría de la comunicación. Hacia un modelo de análisis comunicativo del paisaje. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 27-55.
- Paré, L., Fuentes, T., García, I., Gerez, P., Muñis, M. & Vidriales, G. (2008). Gestión de la cuenca del río Pixquiac y su interacción con la zona conurbada de Xalapa: esfuerzo desde la sociedad civil. En D. Soares, S. Vargas, & M. Nuño, *La gestión de los recursos hídricos: perspectivas y realidades* (págs. 228-256). México: IMTA.
- Pillet, F. (2004). *La geografía y las distintas acepciones del espacio geográfico*. *Investigaciones Geográficas*, 141-154.
- Tibaudiza, J. (2007). Espacio geográfico y oferta ambiental del municipio de Cota, Cundinamarca, Colombia. Una perspectiva pedagógica. *Geoenseñanza*, 145-157.
- Vara, J. (2010). Un análisis necesario: epistemología de la geografía de la percepción. *Papeles de Geografía*, 337-334.
- Vidriales, G., Fuentes, T., García, I., Paré, L., & Gerez, P. (2010). *Hacia la Gestión Integral de la Cuenca del Río Pixquiac*.



Extenso ID: 35. David M. Torrez; Avila-Foucat V.S. REDES SOCIALES Y GOBERNANZA: LA EXPERIENCIA DE LOS MECANISMOS LOCALES DE LAS SUBCUENCAS DEL RÍO PIXQUIAC Y GAVILANES, VERACRUZ

[Regresar al índice](#)

1 Estudiante de Doctorado en Economía, Facultad de Economía, UNAM. dtorrez@hotmail.com

2 Investigadora del Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. savila_1@yahoo.com.mx

Resumen

La gobernanza ambiental mejora la implementación de políticas ambientales, ya que tiene como objetivo la cooperación y la interacción de los diferentes actores, la construcción de redes entre las instituciones públicas y privadas. Por lo tanto, el conocimiento del funcionamiento de las redes sociales son fundamentales para la construcción de la gobernanza, especialmente cuando los actores tienen diferentes intereses, conocimientos y recursos. El análisis de redes se utiliza en este documento para analizar en una política pública ambiental, las relaciones estructurales entre los actores, así como sus interdependencias y dinámicas. En este caso particular, nos centramos en el Mecanismo Local de Pagos por Servicios Ambientales Hidrológicos que operan en las subcuencas hidrográficas Pixquiac y Gavilanes ubicados en el centro del estado de Veracruz, México. Durante octubre de 2014 y enero de 2015, se realizaron 16 entrevistas a diferentes actores del gobierno, organizaciones no gubernamentales y sectores académicos. El software UCINET 6.45 se utilizó para obtener de diferentes años los siguientes indicadores: la reciprocidad, la densidad, centralidad y el grado de intermediación. Los resultados muestran que la evolución del programa en ambas subcuencas han creado diferentes tipos de redes en términos de densidad y centralidad pero en ambos casos nuevos actores se han integrado y su colaboración ha sido creciente a lo largo de los años.

Palabras claves: *gobernanza ambiental, actores, matrices, mapas de red, indicadores de centralidad.*

INTRODUCCIÓN

Gobernanza

La gobernanza es un concepto que tiene sus orígenes en el francés antiguo, y se refiere a “un nuevo estilo de gobierno, distinto del modelo de control jerárquico y se caracteriza por un mayor grado de cooperación y por la interacción entre el Estado y los actores no estatales al interior de redes decisionales mixtas entre lo público y lo privado” (Carrizo, L., Gallicchio, E., 2006). Es un concepto que se ha venido extendiendo y desde diferentes esferas políticas se afirma que estamos asistiendo a un paso de gobierno a gobernanza, que implica un proceso emergente y en construcción constante de configuración de diversos mecanismos institucionales de interacción entre actores públicos y privados (Rhodes 1996; Koiman 2004). Torres y Ramos (En Lerner, *et al.* 2012) consideran tres elementos



fundamentales de gobernanza: 1) *la dirección* de un proceso, 2) la *coordinación* público-privada por medio de redes mixtas de los programas de gobierno y 3) la disminución de los costos de *transacción*.

“Un planteamiento general es que un rango de formas de colaboración entre el sector público y privado genera un nuevo potencial para el aprendizaje, adaptación y capital social en el manejo sostenible de los recursos naturales (Borg, *et al* 2014).

En el ámbito de la problemática ambiental Lemos y Agrawal, (2006) señalan que la gobernanza ambiental “hace referencia al conjunto de procesos regulatorios, mecanismos y organizaciones a través de los cuales, actores políticos influyen acciones y resultados medioambientales. Ellos agrupan en cuatro los temas sobre los que se construye y reconfigura la gobernanza ambiental: *globalización, descentralización, mecanismos basados en incentivos de mercado y voluntarios y gobernanza multinivel o a través de escalas*. Bodin *et al.* (2009) contribuye en esta misma dirección y definen a la gobernanza ambiental como el manejo de los recursos naturales, así como a las estructuras y procesos que proporcionan el entorno social y el ambiente institucional en el cual el manejo o gestión puede tener lugar.

Es notable que “el elemento fundamental de la gobernanza es la articulación en red de los múltiples actores intervinientes que poseen intereses, conocimiento y otros recursos necesarios para la formulación de las políticas públicas” (Carrizo, L., Gallicchio, E., 2006).

Redes

Las múltiples interacciones de la gobernanza ambiental demandan nuevos instrumentos teóricos y metodológicos que coadyuven a describir y explicar los procesos de toma de decisiones a nivel local. El concepto de red social hace referencia a un conjunto finito de actores y las relaciones que los vinculan, asimismo, las redes sociales son consideradas estructuras sociales donde se producen procesos de comunicación y transacción entre personas (Aguirre, 2011). Es un enfoque usado para entender la estructura de un sistema que utiliza conexiones entre nodos y los atributos de los nodos como base para el análisis (Janssen *et al.*, 2006); y reconoce la existencia de numerosos actores que inciden en las políticas públicas en un momento en que las sociedades modernas se caracterizaran por su diversidad y complejidad (Cerrillo, A. 2005).

Metodológicamente emplea una serie de indicadores para conocer las características de funcionamiento de una red, nosotros elegimos algunos de ellos (densidad, centralidad e intermediación) para conocer la posición que desempeña cada uno de los participantes en la red. El primero de ellos es la densidad (Scott, 2000) que es el indicador más común en el análisis de centralidad y se muestra en forma de porcentaje del cociente entre el número de relaciones que existen y las posibles; o como lo señala Bodin (2006) es el número de vínculos dividido por el número de nodos en la red. En concreto, una densidad del 100% indica que todos los actores se encuentran conectados entre sí. El segundo indicador es la centralidad, y se trata de la tendencia en la red de unos pocos actores que tienen muchos vínculos, por ejemplo, una red con estructura tipo estrella (Bodin, 2006). Se expresa en términos de centralidad de entrada y de salida; donde el grado de salida es la suma de las conexiones de un actor con el resto y de entrada, es la suma de las relaciones referidas hacia un actor por otros (Vázquez & Aguilar, 2005). El último indicador que hemos considerado importante para nuestro análisis es la intermediación, que señala el grado en el cual un actor se conecta indirectamente con otros (Freeman, 1979); es decir, cuando un actor se encuentra entre muchos otros en la red se dice que tiene una alta centralidad de intermediación, esto implica que el nodo puede actuar como un puente entre actores. De



esto se desprende que la alta centralidad e intermediación otorga al actor la capacidad de influir en el flujo de recursos entre otros actores (Burt, 2004).

Objetivo

En este documento se presentan los resultados de una investigación cuyo objetivo es describir el funcionamiento de los esquemas locales de Pagos por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) a través del análisis de redes sociales y su contribución a la gobernanza en las subcuencas Pixquiac y Gavilanes, en la zona central del estado de Veracruz. Cabe señalar que desde hace más de diez años operan programas de pago para la conservación hidrológica en ésta área, así que consideramos que después de este periodo de tiempo resulta necesario conocer los impactos de esta intervención de política pública ambiental y que de acuerdo a sus objetivos debe de incidir en la conservación de la naturaleza e incidir sobre las condiciones de vida de la población que habita estos territorios; así que nuestro trabajo abona en este segundo objetivo.

ÁREA DE ESTUDIO

Gavilanes

La subcuenca del río Gavilanes pertenece a la cuenca del Río La Antigua y es la fuente principal de abastecimiento de agua para la ciudad de Coatepec, tiene una superficie de 36.8 km² y se localiza al noroeste de los municipios de Coatepec y Xico, Veracruz. Presenta diversas condiciones climáticas, topográficas y biológicas en un espacio relativamente pequeño (15 kilómetros de longitud) (García Coll, I. *Et al.* En Kotler, H. 2010).

La ubicación geográfica convierte a esta zona en un gran reservorio de agua no solo para Coatepec, sino para toda la región, favoreciendo la presencia de bosques de pino, pino-encino y mesófilo de montaña en las laderas orientales del Cofre de Perote, e influye favorablemente en la recarga de los mantos acuíferos al propiciar su infiltración al subsuelo (Conafor, s/f).

Las zonas con mayor prioridad para el pago por servicios ambientales hidrológicos se ubican en la parte central y alta, donde se concentran unidades ecológicamente conservadas, pero rodeadas por paisajes con intensos usos del suelo, situación que pone en riesgo la continuidad de los procesos hidrológicos y por lo tanto el abastecimiento de la ciudad (García Coll, *et al.* En Cotler, 2010).

La subcuenca del río Gavilanes tiene el privilegio de ser la primera en México donde se pone en marcha un programa para la conservación bajo el enfoque de pagos por servicios ambientales hidrológicos. Este programa surgió como respuesta a la necesidad de recuperar, conservar e implementar los recursos forestales de la zona montañosa del municipio, que es donde se ubican los nacimientos de agua que abastecen la ciudad (Conafor, s/f). El origen del programa se debe a la escasez de agua sufrida por la ciudad de Coatepec en 1998, lo que generó que la población se alarmara y tomara “conciencia” sobre la necesidad de conservar los territorios cuenca arriba donde se colecta el agua. Por estos motivos, la administración municipal constituyó en el 2002 el Fideicomiso Público de FIDECOAGUA para la promoción y preservación de bosques.

En el año 2003 el gobierno federal a través de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) funda el Programa Nacional de Pagos por Servicios Ambientales Hidrológicos y se suma a esta iniciativa como



fuentes de financiamiento. En el 2008, este programa deja de pertenecer al PSA-H nacional y se convierte en un mecanismo local o fondo concurrente. En el 2011 se firma el primer convenio de pago por un periodo de cinco años.

Pixquiac

La subcuenca del río Pixquiac forma parte de la cuenca alta del Río La Antigua y nace en la ladera oriental de Cofre de Perote. Se localiza al oeste de la ciudad de Xalapa y al noroeste de la ciudad de Coatepec, e involucra parcialmente a los municipios de Perote, Las Vigas, Acajete, Tlalnahuayocan y Coatepec. Tiene una superficie total de 10 727 has., (equivale al 8.09% del total de la cuenca alta del río La Antigua) y una longitud de 30.27 kilómetros. Posee un gradiente altitudinal que va desde los 1040 msnm hasta 3 740 msnm. La zona alta de la subcuenca incluye 908 has del Parque Nacional del Cofre de Perote (Vidriales, *et al.*, en Paré, L. & Geréz, P., 2012).

A partir de la preocupación por conservar una de las principales fuentes de agua de la ciudad de Xalapa, en el 2006 surgió un programa de pagos por servicios ambientales denominado “Programa de Compensación por Servicios Ambientales de la Cuenca del Río Pixquiac” (PROSAPIX). A través de este programa los beneficiarios de los Servicios Ambientales apoyan a la población de la parte alta de la subcuenca en acciones de conservación de bosques, restauración, desarrollo de alternativas productivas (Vidriales, *et al.*, s/f).

Como parte del proceso de desarrollo del programa de conservación se constituyó un Comité de Cuenca del Río Pixquiac (CUCUPIX), que es un espacio multiactoral que se enfoca al buen manejo de los recursos naturales y el desarrollo integral de los habitantes del área.

Durante los años 2008 y 2009 el CUCUPIX, el organismo operador del agua de la ciudad de Xalapa (CMAS) y la CONAFOR firmaron un convenio de fondos concurrentes con el objetivo de sumar recursos para compensar a dueños de terrenos forestales para que mantengan o mejoren las condiciones de conservación y la cobertura forestal del área de interés (Conafor, s/f).

MÉTODO

Se identificaron a los distintos actores que participan directa o indirectamente en la operación de los programas de pago. En una primera fase se reconocieron a 23 actores constituidos por ONGs, el gobierno en sus diferentes niveles, Sociedad Civil, Académicas y de Investigación, cada una de ellas con diferentes tipos de participación que van desde la gestión, asesoría, financiamiento, administración, etcétera. Posteriormente se consultó y verificó esta lista por un experto local y se terminó con un total de 18 instituciones con participación directa.

Posteriormente, se diseñó un instrumento (entrevista estructurada) que consta de un total de 40 preguntas, agrupadas en diferentes indicadores para analizar la gobernanza. Además de esto, se construyó una matriz que tenía como objetivo principal preguntar acerca de las relaciones entre los actores, en la primera columna se registraron los nombres de cada uno de los miembros de la red, y en las celdas de las columnas siguientes el tipo y la frecuencia de las colaboraciones. El promedio de



tiempo en la aplicación de la entrevista fue de 60 minutos, aproximadamente; y mediante el consentimiento del participante, las entrevistas fueron audio-grabadas para su posterior transcripción.

El periodo de recolección de campo está constituido por dos etapas. La primera se llevó a cabo durante los días que comprende el periodo que va del 27 de octubre al 07 de noviembre del 2014, y la segunda fase se llevó a cabo en los días que va del 02 al 13 de febrero del 2015. Se entrevistaron a un total de 16 instituciones de las 18 identificadas.

Con los datos colectados se construyeron matrices de tipo cuadradas, que se caracterizan por que en ambos lados contiene el nombre de los actores involucrados, y en cada celda se registran las colaboraciones reportadas por cada actor de la red. Los valores asignados es 1 para la presencia vínculos y 0 para la ausencia. Es decir, las matrices son de tipo asimétricas, donde las relaciones pueden ser de tipo unidireccionales y bidireccionales.

Se empleó el software UCINET 6.545 y NETDRAW para sintetizar la información matricial y la construcción de los mapas de red, así como para el análisis de los indicadores de centralidad que nos permiten conocer las propiedades de las relaciones entre actores.

Considerando que uno de los objetivos de esta investigación es conocer la evolución de las redes en el tiempo, se determinó construir tres redes (*fase inicial, intermedia y final*) para cada subcuenca.

RESULTADOS

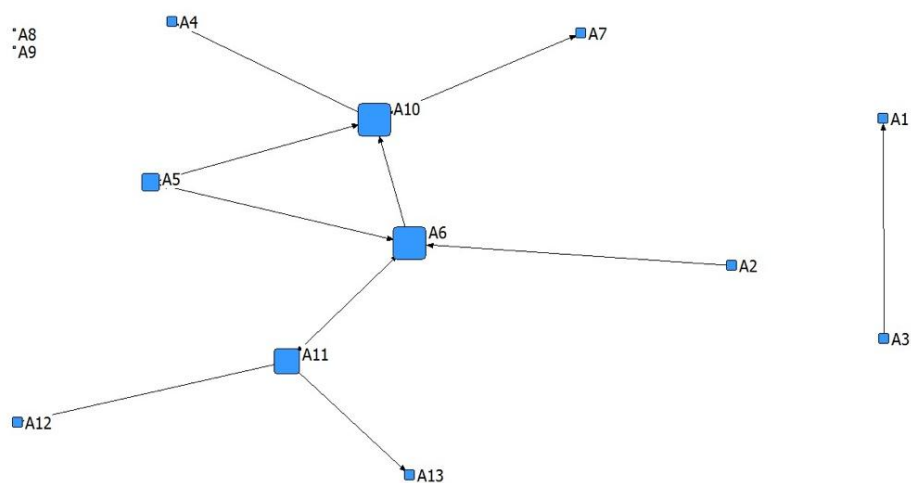
Gavilanes

En la figura 1 se muestran tres mapas de red, cada una de ellas representa un momento específico en el proceso de desarrollo del programa de la subcuenca Gavilanes. La red que describe el inicio del programa se le denomina *red fase inicial* y está conformada por los diferentes actores que coadyuvaron a su formación; la segunda red se le ha llamado *red fase intermedia* y por último la *red fase final* – denominada así porque fue en el 2014 cuando se realizaron las entrevistas, más no se refiere al término del programa.

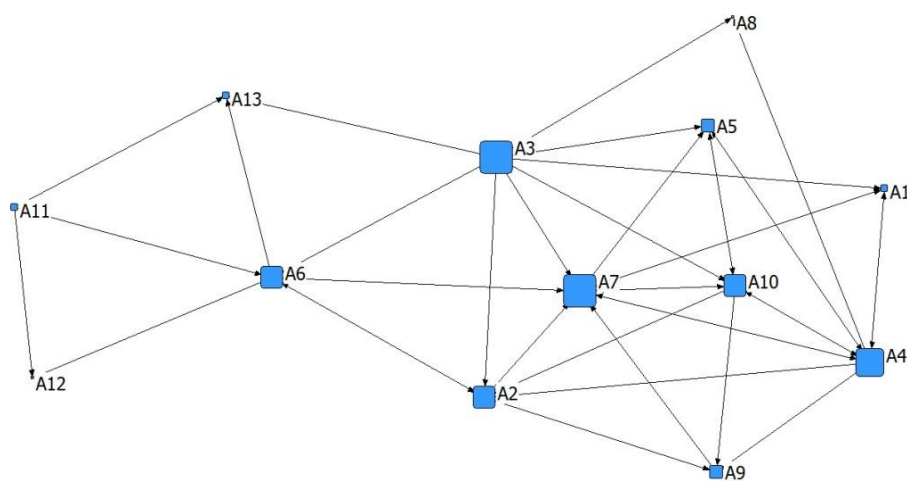
Para efectos de la descripción, cabe mencionar que los elementos que caracterizan a cada red, están constituidos por nodos que representan a los diferentes actores participantes; y las líneas o flechas que representan los flujos –unidireccionales o bidireccionales- de información entre los diferentes actores. Además, la característica esencial que se debe de apreciar en un nodo es su tamaño, ya que este representa el papel que juega cada uno de los actores al interior de la red.

En este sentido, los resultados indican que la *red fase inicial* se caracteriza por ser de tipo alargada y dispersa, normalmente caracterizadas por pocas interacciones entre los actores involucrados y con flujos unidireccionales. La arquitectura de la red esta constituida por 11 actores, nueve de los cuales forman el cuerpo principal de la red y dos más con interacciones propias y desvinculadas de los demás. Los nodos A10 y A6 reconocieron tener algún tipo de conexión con el 25% del resto de actores de la red. En contraste, tenemos que la mayoría de los actores de la red son de tipo periféricos y que se conectan a través de relaciones unidireccionales.

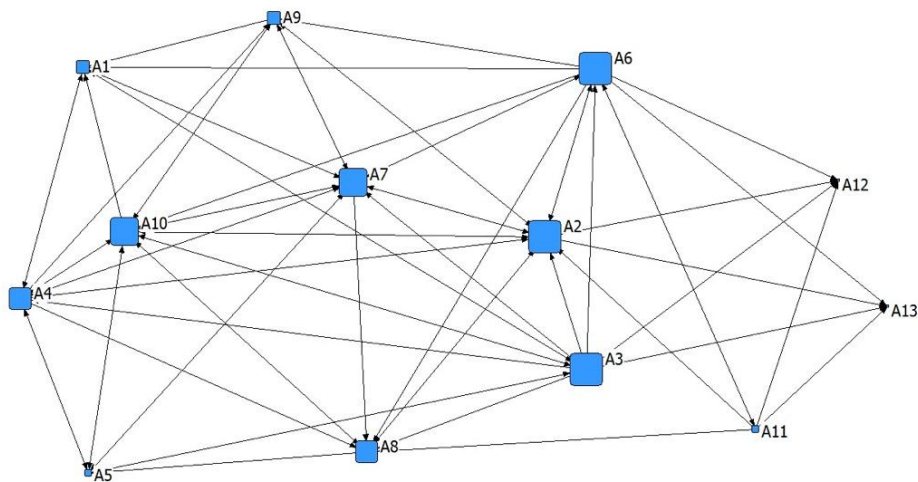
Imagen 1. Redes de actores de Gavilanes
Red fase inicial (2002)



Red fase intermedia (2008)



Red fase final (2014)



La *red fase intermedia* esta formada por un total de 13 actores y deja de tener una característica lineal y se torna ovalada, lo que implica mayores colaboraciones entre los actores involucrados. Se observa que los nodos A7, A3 y A4 son lo que poseen mayor grado de centralidad. Esto quiere decir, que los actores centrales de la *red fase inicial* dejaron de cumplir esta función y fueron sustituidos en la *red fase intermedia* por los actores señalados.

Por último, la *red fase final*, posee una característica redonda y mayor interacción que la *red inicial e intermedia*. Asimismo, deja ver que el número de nodos conocidos como actores prominentes o con posiciones de prestigio (centrales) creció con respecto a la red fase intermedia, ya que paso de tres a cinco nodos, representados por los nodos A6, A2, A3, A7 y A10. Los nodos con menores interacciones son los que se posicionan en la periferia y que para esta red son A5, A11, A12 y A13.

Es notable que las red Gavilanes demuestra que existe una correlación entre tiempo y conectividad; ya que a medida que el proceso de la red Gavilanes avanza, se presentan mayores conexiones entre los diferentes actores y por consecuencia mayor colaboración y flujo de información entre los integrantes que configuran el mapa de red.

Los valores de la densidad de red para cada una de las fases fueron de 12.7% de las interacciones posibles en su fase inicial. En el proceso, la tendencia ha sido positiva pasando de este 12.7% a 25.6% en su fase intermedia, hasta llegar a un 43.6% en su fase final. A pesar de que se ha mantenido una tasa de crecimiento entre las conexiones, el análisis de densidad pone en evidencia que la red aún se encuentra muy lejos de acercarse a su máximo potencial de interacción.

En cuanto a la intermediación se refiere, las celdas de la tabla siguiente muestran en cada una de las columnas información de intermediación expresado en números totales de pares de nodos que un actor es capaz de mediar. Dos factores pueden llamar la atención en la lectura de la tabla 2; en primer lugar, la presencia de nodos con un valor de 0, lo cual indica que no existe ningún tipo de dependencia de estos actores para llegar a otros; y en segundo lugar, los valores con decimales cuando estamos hablando de pares de nodos, esto se debe a aspectos metodológicos para el cálculo del grado de intermediación, ya que resulta de una división del número de veces que un nodo participa en los caminos geodésicos entre el total de caminos geodésicos posibles.

Regresando a la descripción de los valores de intermediación, tenemos que el actor con mayor intermediación en la *red fase inicial* fue el nodo A6 con un total de 20 pares de nodos; en la *red fase intermedia* el actor puente fue el nodo A7 con 29.8 pares de nodos, seguido de A6 con 27.5 pares de nodos; en la *red fase final* el actor puente fue el nodo A2, seguido de A6.

Tabla 1. Grado de intermediación de la red de actores de la subcuenca del río Gavilanes

Actores	Intermediación red fase inicial	Intermediación red fase intermedia	Intermediación red fase final
A1	0	0.3	2.7
A2	0	17.0	15.9
A3	0	11.2	9.8
A4	0	23.2	3.1
A5	8	13.8	2.3
A6	20	27.5	13.6
A7	0	29.8	11.0

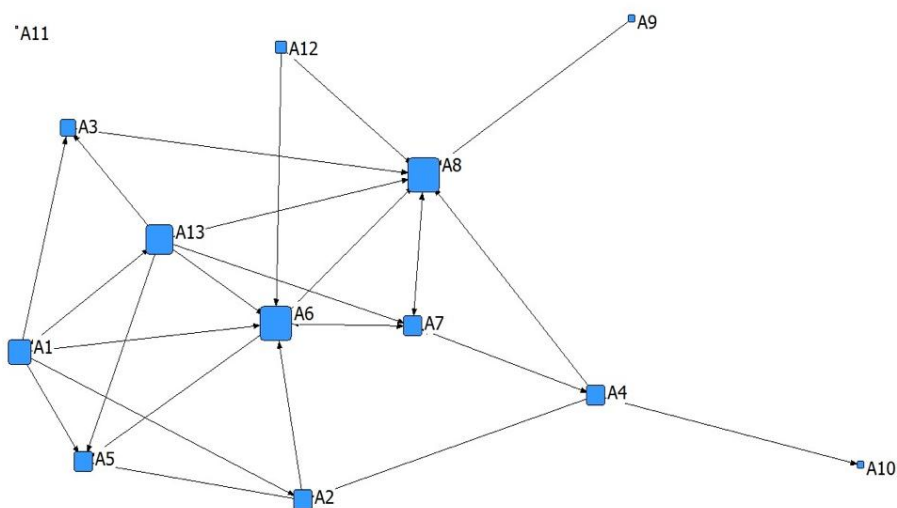
A8	0	0	0.3
A9	0	0	2.3
A10	14	5.4	10.7
A11	10	0	0
A12	0	0	0
A13	0	0	0

Pixquiac

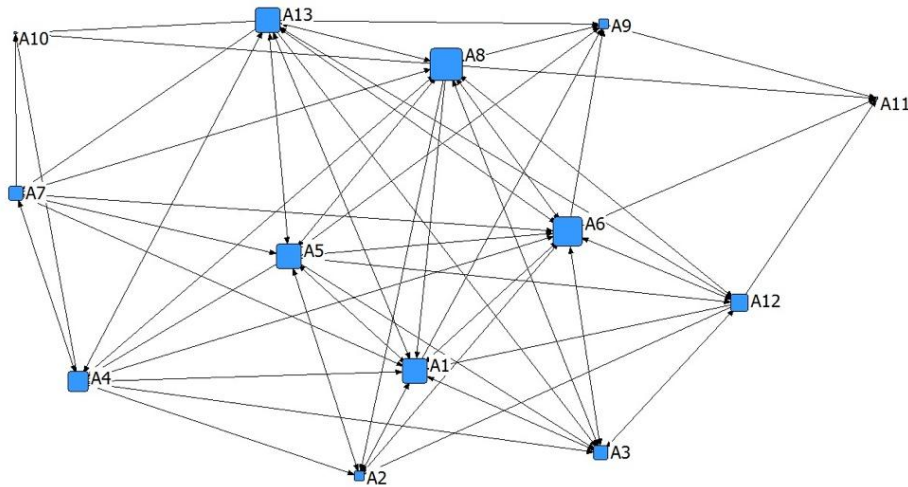
De la misma manera que en la red Gavilanes, se construyeron tres redes que denotan momentos concretos en el proceso del programa de pagos y que se observan en la imagen 2.

Imagen2. Redes de actores del Pixquiac

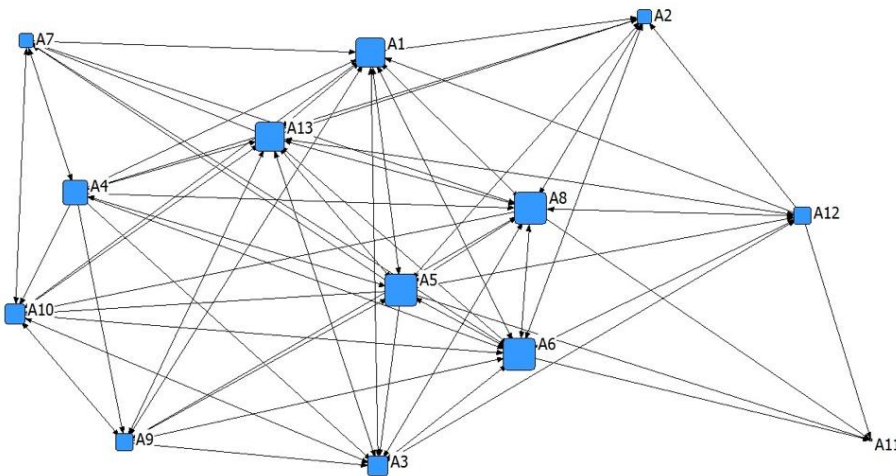
Red fase inicial (2006)



Red fase intermedia (2010)



Red fase final (2014)



Cada una de las redes describe las interacciones entre los diferentes actores presentes en cada fase de análisis. En este sentido, la *red fase inicial* (2006) registra los diferentes actores que participaron en el origen del programa; la *red fase intermedia* visualiza las características de la red en el año 2010 y la *red fase final* (2014) muestra el último registro en términos de actores involucrados y sus respectivas colaboraciones.

Siguiendo la lógica descrita, tenemos que la *red fase inicial* estaba compuesta por un total de 12 nodos y que tiene una característica con tendencias a una red tipo circular, con algunos actores periféricos, como son el caso de los nodos A9 y A10 solamente conectados a la red principal por una interacción de tipo unidireccional. En contraste a los periféricos, los actores centrales están representados por los nodos A8, A6 y A13. El porcentaje de conexiones (densidad) fue de un 22% de las posibles, así que se definía como una red de conectividad baja.

En la *red fase intermedia* (2010) los actores con menor grado de interacción y en consecuencia periféricos son los nodos A11, A10 y A2. Por el contrario, los actores centrales son los nodos A8, A6 y A13. Es notable que hay una continuidad de actores centrales en la *red fase inicial* y la *red fase*

intermedia. Cabe mencionar que en la *fase intermedia*, la red ya se constituía como de conexiones intermedias con el 49.4% de los vínculos posibles.

La *red fase final* esta configurada por un total de 13 actores; de los cuales los nodos A11, A12 y A2 ocupan la posición de actores periféricos, mientras que los nodos A6, A8 y A13 continuaron siendo los actores centrales y a los cuales también se les sumaron los nodos A1 y A5. Cabe mencionar que en esta fase, la red se caracterizaba por ser una red media con tendencias a conectividad alta (64.1%).

Los valores de intermediación presentados en la tabla 2 sostienen que el valor de intermediación para la red fase inicial e intermedia fue para el nodo A8; para la fase final el actor A6 es quien ocupó esta posición. Otra situación que se puede apreciar en los resultados es que en el proceso la red ha tenido una tendencia decreciente en términos de la intermediación, lo que indica que cada vez se es menos dependiente de algún actor para mediar la comunicación entre los actores de la red.

Tabla 2. Grado de intermediación de la *red fase* del Pixquiac

	<i>Red fase inicial</i>	<i>Red fase intermedia</i>	<i>Red fase final</i>
ACTORES	Intermediación	Intermediación	Intermediación
A1	2.8	4.4	3.8
A2	1.5	0.4	1.5
A3	0.3	0.7	1.5
A4	13.2	1.1	2.2
A5	0.0	8.0	5.5
A6	12.7	11.8	10.3
A7	21.2	2.2	1.2
A8	34.2	19.0	8.2
A9	0.0	1.2	0.6
A10	0.0	0.0	1.3
A11	0.0	0.0	0.0
A12	0.0	1.6	0.8
A13	0.0	7.6	7.2

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Coleman (1988) “se refiere al capital social como las conexiones entre redes individuales y sociales y las normas de reciprocidad y confianza que surgen de ellos; y no solo se queda al nivel de la definición sino que señala que existen tres tipos de componentes del capital social: la confianza o la expectativa y obligaciones de relaciones informales, canales de información, y normas con sanciones efectivas.

En términos de la gobernanza, las redes sociales pueden mejorar los procesos colaborativos por medio de: i) la generación, adquisición, y difusión de diferentes tipos de conocimientos e información acerca de los sistemas bajo manejo; ii) movilización y asignación de recursos claves para la gobernanza efectiva; iii) compromiso con las reglas comunes entre los actores que fomentan la voluntad de participar en los programas de vigilancia y sanción; iv) resolución de conflictos (Bodin, *et al.* 2009).



En el contexto del análisis de la gobernanza, se ha demostrado tentativamente que el alto grado de centralización de la red aparece positivamente correlacionado con la acción colectiva, principalmente por el efecto positivo sobre las capacidades de los actores principales de priorizar y coordinar actividades (Sandstrom, 2008).

En consecuencia, un alto grado de centralidad puede ser en algunos aspectos muy bueno para facilitar los procesos de resolver situaciones sencillas, ya que la información relevante se puede relacionar y sintetizar a unos pocos actores quienes pueden tomar una decisión y acción (Leavit, 1951). Sin embargo, hay que reconocer que en las redes sociales donde pocos individuos tienen un alto grado de centralidad se puede conducir a la toma de decisiones cada vez más centralizado, lo que a su vez puede tener efectos negativos, por ejemplo, el aprendizaje, ya que reduce el acceso de los actores individuales a múltiples fuentes de la información (Abrahamson y Rosenkopf 1997).

Nuestro análisis muestra que a medida que los programas de pagos caminan, las redes de colaboración crecen en términos de sus conexiones y por consecuencia la colaboración y flujo de información (mayor gobernanza); este es un factor importante porque como señala Borg, *et al.*, (2014), la colaboración entre los diferentes actores es crucial para la conservación de la biodiversidad. En las redes se puede distinguir que este proceso se ve más fortalecido para el caso de la subcuenca del río Pixquiac y que estas distinciones se atribuyen al enfoque de trabajo del organismo operador del programa. De tal manera que consideramos que el papel del organismo operador ha contribuido a mejorar los lazos de colaboración y confianza entre los distintos actores involucrados. En contraste, el programa de pagos de la subcuenca del río Gavilanes ha estado más inclinado hacia una lógica de funcionamiento asociado a factores políticos, situación que ha determinado que los demás actores potenciales se mantengan a distancia y con pocas motivaciones para establecer lazos de colaboración.

Las redes con un número reducido de actores tienden a poseer un alto grado de flujos y conectividad (densidad). Bodin & Crona (2009) mencionan que las redes con valores altos de cohesión fomentan la colaboración e intercambio de recursos, y que generan un buen desempeño en la gobernanza del manejo de los recursos naturales. En nuestro caso de estudio, la proporción de vínculos entre los actores (densidad) ha tenido una tendencia creciente desde el surgimiento de ambos programas. Los resultados de este indicador para la red Gavilanes muestran que siendo una red pequeña, el nivel de colaboración es bastante bajo; la *red fase final* es la única que se acerca a una conectividad media (43.58%), con tendencias a ser una conectividad baja. De la misma manera, la red Pixquiac es definida como una red pequeña, pero con mayores conexiones (64.1%) con respecto a la red Gavilanes.

Sorensen y Torfing (2005) definen la gobernanza en redes en función de los siguientes elementos: articulación horizontal estable entre actores que son operacionalmente autónomos, los actores interactúan a través de negociaciones y no de relaciones jerárquicas, la relación tiene lugar en un marco normativo, cognitivo, e imaginario, el marco de actuación es autoregulado, la red contribuye a la producción de utilidad pública dentro de una o más áreas sustantivas de política pública.

Los indicadores de centralidad empleados para tener una mirada más precisa de la posición que ocupa cada actor al interior de la red nos han mostrado que en el proceso de desarrollo de ambas redes, los niveles de colaboración han mejorado con respecto a su fase inicial. La gobernanza ambiental se ha visto fortalecida a través de la cooperación de los distintos actores que contribuyen a la operación de cada uno de los programas de pago por servicios ambientales hidrológicos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahamson y Rosenkopf. 1997. Social network effects on the extent of innovation diffusion: a computer simulation. *Organization Science*/Vol.8, No. 3, May-June 1997
- Aguirre, J. 2011. Introducción al análisis de redes sociales. Centro Interdisciplinario para el Estudio de Políticas Públicas (CIEPP). Buenos Aires, Argentina.
- Bodin, Ö., Crona, B., Ernstson, H., 2006. Social networks in natural resource management—What's there to learn from a structural perspective? *Ecology & Society* 11.
- Bodin, Ö. & Crona, B. 2009. The role of social networks in natural resource governance: What relational patterns make a difference? *Global Environmental Change*, 19, 366-374.
- Borg, R., Toikka, A., Primmer, E. 2014. Social capital and governance: a social network analysis of forest biodiversity collaboration in Central Finland. *Forest Policy and Economics*.
- Burt, R.S., 2004. Structural holes and good ideas. *American Journal of Sociology* 110, 349–399.
- Carrizo, L. & Gallicchio, E. 2006. Desarrollo local y gobernanza: enfoques transdisciplinarios. CAF, UNESCO.
- Cerrillo, A. (Coordinador). 2005. La gobernanza hoy. Instituto Nacional de Administración Pública, Madrid-España.
- Coleman, J. 1988. "Social capital in the creation of human capital", *American Journal of Sociology* vol. 94, suplemento.
- Freeman, L. 1999. Centrality in social networks: conceptual clarification. *Social Networks*, 1 (1978/79) 215-239
- García Coll I., et al. 2010. La relación agua-bosque: delimitación de zonas prioritarias para pagos de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca del río Gavilanes, Coatepec Veracruz; En Cotler, H. (Compiladora) 2010. El manejo integral de cuencas en México. Segunda Edición. SEMARNAT, INE.
- Janssen, M. A., Ö. Bodin, J. M. Anderies, T. Elmqvist, H. Ernstson, R. R. J. McAllister, P. Olsson, and P. Ryan. 2006. A network perspective on the resilience of social-ecological systems. *Ecology and Society* 11 (1): 15
- Koiman, J. 2004. Gobernar en Gobernanza. *Revista Instituciones y Desarrollo*. Institut Internacional de Governabilitat de Catalunya 16: 16, 171-194.
- Leavitt, H., 1951. Some effects of certain communication patterns on group performance. *Journal of Abnormal and Social Psychology* 46, 38–50
- Lemus, M., Agrawal, A. 2006. Environmental governance. *Annual Review Environmental Resources*. 2006. 31:297–325
- Lerner, B., Uvalle, R., & Moreno, R. (Coordinadores). 2012. Gobernabilidad y gobernanza: en los albores del siglo XXI y reflexiones sobre el México contemporáneo. UNAM-IIS, IAPEM
- Paré, L., Gerez, P. (Coordinadores). 2012. Al filo del agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz. UNAM, SENDAS, Universidad Veracruzana, SEMARNAT, INE.



- Rhodes, R. 1996. The new governance: governing without government. Political studies. Volume 44, Issue 4, pages 652–667, September 1996
- Sandstrom, A., 2008. Policy Networks: The Relation Between Structure and Performance. Department of Business Administration and Social Sciences, Lulea University of Technology, Lulea, Sweden.
- Sorensen y Torfing, 2005. The democratic anchorage of governance networks. Scandinavian political studies. Volume 28, Issue 3 September 2005 Pages 195–218
- Scott, J. 2000. Social network analysis: a handbook. Segunda Edición. SAGE publications.
- Velázquez, A., & Aguilar, N. 2005. Manual introductorio al análisis de redes sociales.
- Vidriales, G., et al. S/F. Cogestión de la cuenca del río Pixquiac. SENDAS, UNAM, Universidad Veracruzana.



Extenso ID: 370. Alex Mayer, Jacob Salcone, Heidi Asbjornsen, Z. Carter Berry, Russ Congalton, Randall Kolkka. Application of Coupled Human-Natural Systems Model for Assessing Trade-Offs Between Watershed Ecosystem Services in Veracruz, Mexico

[Regresar al índice](#)

Michigan Technological University, asmayer@mtu.edu

Colorado State University, jsalcone@gmail.com

University of New Hampshire, heidi.asbjornsen@unh.edu

Kelly Jones, Colorado State University, kelly.jones@colostate.edu

University of New Hampshire and Instituto de Ecología, zcberry@gmail.com

University of New Hampshire, russ.congalton@unh.edu

United States Forest Service, rkolka@fs.fed.us

Theresa Selfa, State University of New York College of Environmental Science and Forestry, tselfa@esf.edu

Trade-offs between watershed ecosystem services (WES) occur due to management choices made by humans, which impact the type, magnitude, and relative mix of services provided by watershed ecosystems. Trade-offs arise when the provision of one WES is reduced as a consequence of increased use of another WES. Here, we assess WES tradeoffs with a coupled human-natural systems model, in response to payments for watershed services (PWS) programs in two watersheds (Pixquiac and Gavilanes) in Veracruz state, Mexico. An econometric sub-model is used to determine landowner participation in the PWS program for a given land use-land cover (LULC). Eight LULC categories, corresponding to 95% of the watershed areas, are used to classify LULC. The LULC can transition from the present category to another, given the outcome of participation and an array of transition probabilities. Biophysical sub-models of watershed discharge and water quality, carbon storage, and biodiversity conservation are used to estimate values of WES indicators at the watershed scale. These simple models are derived from qualitative and quantitative observations in the study watersheds.

By using simple models, we gain first-cut insights into WES tradeoffs and the sensitivity of estimated tradeoffs to model structure. We develop scenarios for PWS program design, climate change, and economic variables that provide input variables for the participation-LULC and biophysical sub-model. Sub-model output variables are synthesized into WES indicators, including PWS participation rates, watershed discharges, carbon sequestration and storage, and biodiversity indices. Ultimately, we plan to feed the WES indicators back to the PWS design and the participation sub-model, to capture what could be an important feedback



IV CONGRESO
NACIONAL

**MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

loop. We also plan to use the output from the model to provide information to the local and national agencies organizations involved in PWS design in the study watersheds.



Extenso ID: 369. EDÉN HERNÁNDEZ VÁSQUEZ. REFORESTACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS A TRAVÉS DE LA COMPENSACIÓN AMBIENTAL

[Regresar al índice](#)

Gerente Operativo del Comité de Cuenca de los Ríos Copalita-Tonameca, email: heden1979@gmail.com

RESUMEN

Uno de los problemas de mayor importancia en las Cuencas Hidrográficas es la deforestación derivada de actividades antropogénicas, las cuales impactan negativamente en la Cuenca al afectar los procesos de infiltración del agua en el subsuelo. Por otro lado, el marco legal de México, establecido en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, establece que todo cambio de uso de suelo en México debe de ser compensado mediante un proyecto de restauración de ecosistemas. Por otra parte, ante la problemática de deforestación y la posibilidad que brindan las leyes ambientales, el Comité de Cuenca Copalita-Tonameca, ha realizado la gestión para la implementación de proyectos de reforestación financiados por proyectos de compensación ambiental. Este tipo de acciones han tenido un efecto positivo en la Cuenca Hidrográfica al volverse unas islas y corredores de la biodiversidad en ecosistemas fragmentados. De igual manera, la gran ventaja de implementar este tipo de medidas en la Cuenca Hidrográfica ha sido que permite realizar proyectos demostrativos que se convierten en escuelas de campo ambientales donde se enseña cómo reforestar, cómo realizar conservación de suelos y sobre todo, se forja la cultura ambiental con los campesinos de la Cuenca. El resultado final ha sido beneficios ambientales, económicos y sociales para los habitantes de la Cuenca y legales para los constructores del país.

Palabras clave: compensación ambiental, reforestación, Copalita, impacto ambiental.

1 INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo tiene como contexto geográfica la Cuenca Copalita-Tonameca, la cuales constituyen un conjunto de cuencas hidrológicas exorreicas costeras de suma importancia para las poblaciones de la Costa de Oaxaca, puesto que el agua captada en estas cuencas son una reserva para superar la difícil época de estiaje en la microcuenca. No obstante, a pesar de la importancia de mantener los bosques, en los últimos años se ha perdido el 10% de la cobertura forestal, por ello en el presente trabajo se describirá cómo se realizaron trabajos de reforestación mediante la compensación ambiental.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El área geográfica por el Comité de Cuenca de los Ríos Copalita-Tonameca abarca El Comité de Cuenca de los Ríos Copalita-Tonameca abarca una superficie 215 000 hectáreas, territorio que va desde los 0 metros sobre el nivel del mar (msnm), en el destino turístico de Bahías de Huatulco hasta los 3 250 msnm de la Cumbre de la Sirena, en la Sierra Madre del Sur, donde ecosistemas, localidades multiculturales articuladas una a la otra por medio de una red hidrológica. Es un territorio complejo dividido en 21 municipios y abarca dos regiones geográficas del Estado de Oaxaca, la Costa y Sierra, tal como se muestra en la Figura 1.

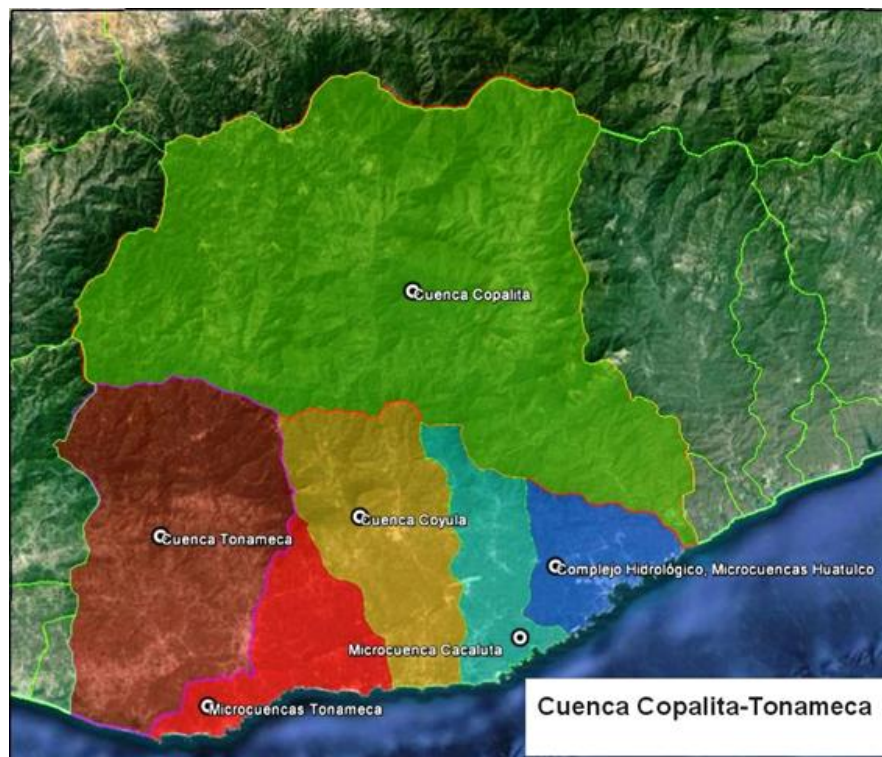


Figura 1. Mapa de las Cuencas Hidrológicas de los Ríos Copalita al Tonameca

Así, en lo que respecta al uso del agua, en la Cuenca Copalita-Tonameca, al igual que en otros casos de estudio, está estrechamente relacionado con la actividad económica predominante: en este caso el turismo. De este modo, tenemos que, en el caso de la Cuenca Copalita-Tonameca, la actividad turística demandará un consumo anual 10 millones 230 mil metros cúbicos en el 2017 y una proyección estimada para el 2025 de 11 millones de metros cúbicos (OCPS-CONAGUA, noviembre de 2009). Por ello, es necesaria la comunicación constante entre cada una de las partes que integran el territorio y eso ha sido posible mediante el Comité de Cuenca.

La problemática ambiental de la cuenca hidrológica es amplia pero se encuentra focalizada, para ello es necesario dividir a la cuenca en tres partes: alta, media y baja. La Cuenca Alta se caracteriza por tener altitudes de los 1 500 msnm a 3 200 msnm, cuenta con una interacción de ecosistemas que van desde bosques de pino-encino, pastizal inducido y en las barrancas existen pequeños territorios de clima subcálido. En cuanto a su geografía humana, la Cuenca Alta se caracteriza por su baja densidad poblacional y una elevada atomización de los asentamientos humanos, en contraste, posee una rica herencia cultura indígena zapoteca, la cual se refleja en la adaptación al ecosistema de la agricultura y el arte culinario de sus habitantes. No obstante, en el aspecto ecológico, la Cuenca Alta de los Ríos Copalita-Tonameca ha padecido los efectos antropogénicos por el cambio de uso de suelo debido a la utilización del sistema Roza-Tumba-Quema para fines agrícolas, del 2001 al 2010 se estimaba una transformación 1 210 hectáreas anuales (Lozano, 2013). Con ello, se ha perdido una amplia cobertura



vegetal original y se ha desencadenado efectos negativos en la Cuenca Baja, tales como disminución del caudal de los ríos y sedimentación en ecosistemas costeros y marítimos.

Por otra parte, la Cuenca Media tiene como característica geográfica una altitud de los 600 msnm a los 1499 msnm, sus ecosistemas principales son la selva mediana subperenifolia y el bosque mesófilo de montaña. En cuanto a su organización social, la Cuenca Media se caracteriza por el predominio de un sistema agroforestal basado en el cultivo del café bajo sombra, variedad arábica, en pequeñas propiedades agrícolas. Este agrosistema trae importantes beneficios ecológicos debido a que la alteración de la cobertura forestal es mínima, dado que la necesita para producir el cultivo. Sin embargo, a partir de la caída internacional de los precios del café, la Cuenca Media ha entrado en una crisis social que ha ocasionado la emigración de los jóvenes hacia centros urbanos de México y Estados Unidos, con ello, su estructura productiva se ha envejecido y pauperizado (Lozano, Op. Cit).

Por último, la Cuenca Baja posee una amplia diversidad de ecosistemas, con un predominio de la selva baja caducifolia, pastizales inducidos, manglares costeros y arrecifes coralinos. En lo que respecta a su geografía humana, la Cuenca Baja ha tenido una transición social en los últimos años al transitar de comunidades rurales, dependientes de actividades agropecuarias y pesqueras, a incipientes centros turísticos, como el Centro Integralmente Planeado Bahías de Huatulco por el Fondo Nacional de Fomento al Turismo a partir de 1985. Así, la relación entre la Cuenca Copalita-Tonameca y su diversidad cultural y biológica permiten que sea una sociedad en una evolución productiva al transitar de una economía basada en el sector primario a una dependiente del sector servicios.

2.1. Una reserva de agua para la Costa de Oaxaca

El recurso de mayor valor de la Cuenca es el agua. Cabe mencionar que en el complejo hidrológico Copalita-Tonameca se localiza el desarrollo turístico Bahías de Huatulco, las poblaciones de la Crucecita, Santa María Huatulco y San Pedro Pochutla se cuentan entre los principales asentamientos humanos de la región que se benefician del agua generada en la Cuenca por lo que es necesario revertir los procesos de degradación de la Cuenca. Pero además es importante para mantener la vida silvestre de los ecosistemas, especialmente en la época estival.

2.2 La Cuenca Copalita-Tonameca: Un hotspot de la biodiversidad en Oaxaca

Dentro de las cuencas Copalita y Tonameca junto con las otras microcuencas mostradas en la Figura 1, se encuentran 26 de los 34 tipos de vegetación que existen en el territorio nacional. Además, existe una gran diversidad de especies prioritarias de interés para la conservación, especialmente las consideradas endémicas (96 hasta ahora), de las cuales, al menos la tercera parte son nuevas especies de plantas para México (González y Palacios 2005). Por otra parte, Salas et al. (2003) señalan que esta región es el único lugar del país que alberga selva mediana caducifolia con alto grado de endemismos (entre el 50% y el 70%).

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, 2014) y

la Región Marina 36 Huatulco. Aquí también se localiza el Área de Interés para la Conservación (AICA) C-17 Sierra de Miahuatlán

2.3 Problemas ambientales en la Cuenca Copalita-Tonameca

A pesar que en algunas áreas de la cuenca se encuentran en buen grado de conservación, se han identificado factores de deterioro ambiental. Estas amenazas calificadas como prioritarias para su atención en estas cuencas (WWF, 2006b) son: la deforestación, los incendios, el avance de la frontera agrícola, la disminución de la disponibilidad del agua, el arrastre de sedimentos a la zona costera, las prácticas turísticas desordenadas y la contaminación del agua.

En cuanto a la red hidrológica, la corriente principal de la cuenca del río Copalita inicia su recorrido desde una altitud de 2960 msnm en el cerro de Samialtecpec, en el Municipio de San Matero Río Hondo, el caudal recorre con dirección Sur siguiendo la dirección de la carretera Oaxaca- Puerto Ángel para posteriormente ir hacia el Este y Sureste cuyo tramo se denomina río Copalita. Durante todo su recorrido colecta las aguas de otros ríos importantes y de arroyos intermitentes a su paso, finalmente desemboca en el océano pacífico.



Figura 2. Problema de deforestación y cambio de uso del suelo en la parte alta y media de la cuenca

Por otra parte, el estado ecológico más deteriorado se encontró en las partes bajas de la Cuenca, con un destaque en los municipios de Santa Maria Huatulco, Santa Maria Tonameca, San Pedro Pochutla y San Miguel del Puerto. En las partes altas de la cuenca, la práctica de una agricultura de roza, tumba y quema, trashumante o nómada según los habitantes lleva por lo menos unos 150 años, por lo que se estima en 40,000 hectáreas la superficie degradada (Figura 2)



El dinamismo que presentan las tierras es evidente con manchones de vegetación secundaria que los campesinos llaman “Guamilera o Huamilera”, tierras en descanso agrícola que se encuentran en recuperación de la fertilidad natural gastada en los ciclos agrícolas anteriores. En las zonas más altas, las problemáticas más comunes actualmente son:

- a) *Presión climática, presión de cambio de uso del suelo y contaminación de ríos.*
- b) *Fragilidad de los ecosistemas, orografía accidentada, pendientes pronunciadas, cañadas profundas.*

En cambio para las partes bajas, las altas temperaturas, lluvias torrenciales, períodos de sequía largos, incidencia de vientos fuertes, carencia del recurso hídrico, suelos desprovistos de vegetación, y por lo tanto erosionados.

2.4 Selección de la Microcuenca

La primera etapa del proyecto piloto fue la selección de la microcuenca a trabajar. La Cuenca del Río Copalita es una cuenca costera de tipo exorreica, caracterizada por una amplia diversidad de ecosistemas, los cuales poseen especies de flora y fauna de importancia nacional como lo estipula la CONABIO al declararla como área prioritaria para la conservación. Para su estudio hidrológico, manejo y administración de sus recursos naturales la Cuenca del Río Copalita ha sido dividida en 5 subcuencas: el Río Santa Ana, el Río San Cristóbal, el Río Yuviaga, Río San Jerónimo, Río San Miguel y Río La Venta.



Figura 3. Localización de la Microcuenca La Venta dentro de la Cuenca del Río Copalita

2.5 Identificación de las fuentes de financiamiento para reforestación

Uno de los obstáculos para la restauración de la cobertura forestal ha sido la falta de recursos materiales para llevarla a cabo, por ello, la Gerencia Operativa realizó una búsqueda exhaustiva de fuentes de financiamiento para tal proyecto. De las fuentes encontradas destacan los fondos internacionales y los fondos nacionales. En este sentido, la Comisión Nacional Forestal (2016) define como compensación ambiental a las obras y actividades de restauración de suelos, reforestación, protección y mantenimiento, que se realizan con el fin de rehabilitar ecosistemas forestales deteriorados, de controlar o evitar los procesos de degradación de los mismos y de recuperar parcial o totalmente las condiciones que propicien su persistencia y evolución. En este sentido, las acciones de reforestación están reguladas por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) que tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, con el fin de propiciar el desarrollo forestal sustentable, según lo establece en el Artículo 1. Uno de los objetivos específicos de la Ley, establecidos en el Artículo 3, es “Recuperar y desarrollar bosques en terrenos preferentemente forestales, para que cumplan con la función de conservar suelos y aguas, además de dinamizar el desarrollo rural”. En este contexto, la reforestación es una estrategia prioritaria para alcanzar dicho fin.

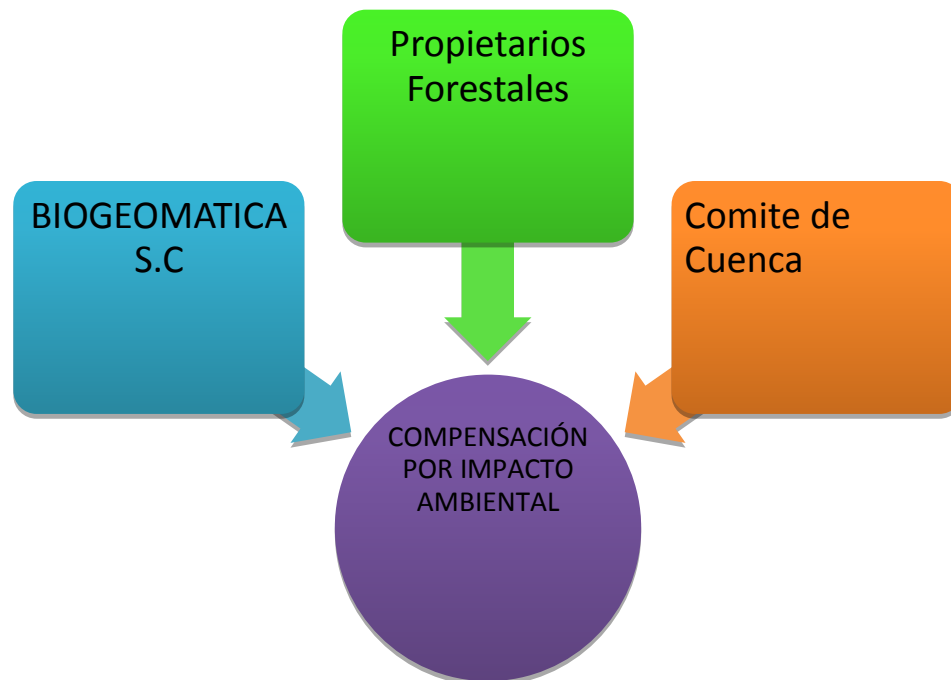
En el caso del proyecto denominado **Restauración de la Microcuenca La Venta**, el Comité de Cuenca impulsó la participación de los dueños de predios de aptitud forestal en la convocatoria emitida por Biogeomática S.C para coadyuvar en la condicionante establecida por la SEMARNAT a través de la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental del Resolutivo No. SGPA.DGIRA.DG.1288/08 de la manifestación de impacto ambiental del proyecto "Autopista

Barranca Larga - Ventanilla ", mediante la cual se establece reforestar 1.407.00 ha, con especies características de Bosque Mesófilo, Selva Mediana Subcaducifolia, Selva Baja Caducifolia, Bosque de Pino-Encino y de Encino – Pino y la composición de los diferentes estratos que lo integran, como medida de compensación derivada del cambio de uso de suelo del proyecto antes mencionado. Así el objetivo del proyecto fue o trabajos de reforestación, que permitan recuperar extensiones de terrenos de aptitud forestal, incluyendo su manejo y mantenimiento, para fomentar la conservación de suelos y a largo plazo proveer de servicios ambientales.

El resultado fue la participación de los productores para la restauración de 600 hectáreas, con una inversión estimada de \$7,500,000 pesos y la generación de 2,000 mil empleos directos en la región.

3 RESULTADOS

El programa de reforestación en la Cuenca Alta a través de la compensación ambiental ha sido una herramienta legal para coadyuvar en la solución de una de las mayores problemáticas de la Cuenca. Este resultado ha sido posible únicamente a través de la conjunción de una serie de factores que se describen a continuación.



De esta manera, el cumplir con una norma ambiental ha proporcionado los fondos necesario para cumplir con las metas de reforestación de

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Finalmente se concluye claramente que los recursos naturales han sido afectados a gran escala por procesos de degradación, Por ello la razón de intervenir seriamente el área de las cuencas mediante los programas de reforestación, talleres de educación ambiental y concientización, haciendo todo lo posible a beneficio de un área tan importante en la zona costera de Oaxaca. Con la puesta en marcha se



pretenden reforestar áreas desprovistas de vegetación y regularmente situadas en las riberas de los principales caudales, terrenos que fueron usados en el pasado para la agricultura y praderas de pastoreo y que hoy en día ya no son productivos, por lo que los dueños de los mismos y de forma voluntaria han decidido introducir especies forestales en apoyo a reducir los problemas ambientales, conscientes de los cambios globales que afectan de forma general en cuestiones de cambio climático y la contaminación, así como el deterioro del territorio dentro de la cuenca.

Se deben mantener e incrementar el dosel arbóreo para seguir brindando servicios ecosistémicos de regulación. Obras de conservación de suelos y agua, mínimo en unas 10,000 ha (urgente). Además de las ya mencionadas, existen otros aspectos que podemos fomentar, tales como; continuar con los ordenamientos ecológicos a nivel municipal, capacitar a los municipios en el diseño de estrategias de manejo de basura y un programa de educación ambiental y promover el financiamiento para el uso de fosas sépticas no sistemas de drenaje.

Actualmente, como resultado de la puesta en marcha se logró la reforestación de 600 hectáreas y se aumentó la cobertura vegetal para que la Cuenca Copalita pueda continuar brindándonos su recurso más importante e invaluable: el agua.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de reforestación por compensación ambiental ha sido posible por la conjunción de esfuerzos materiales y financieros provenientes de organizaciones, como Biogeomatica S.C., dependencias federales, como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, pero sobre todo por el apoyo de los campesinos de la Cuenca Copalita-Tonameca, quienes creyeron en el proyecto y nos brindaron todo su apoyo.

6. LITERATURA CITADA

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2014). **Quinto Informe Nacional de México ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica**. CONABIO. México.

Gonzalez Mora, Ignacio Daniel et Al (2009). **Memoria del Taller: Propuesta de Caudal Ecológico en la Cuenca Copalita-Zimatán-Huatulco**. Alianza WWF-FGRA. México

Lozano Trejo, Salvador (2013). **Plan Rector de la Cuenca emblemática del Río Copalita**. Universidad Vasconcelos-Sistema Producto Café Oaxaca. SEDAFPA/SAGARPA. México.

OCPS-CONAGUA(Noviembre de 2009). **Plan de manejo integral de la cuenca hidrológica del Río Copalita**.



Extenso ID: 197. Kenia Arellano Llamas^a ¿QUÉ DEFINE EL ÉXITO DE LOS MECANISMOS DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN UNA CUENCA?

[Regresar al índice](#)

^a Universidad de Guadalajara, Jalisco. kenia.arellano@gmail.com

RESUMEN

Este ensayo es una reflexión sobre lo que determina el éxito de los esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA); primero, se presentan las características generales de los diferentes mecanismos de pago por servicios ambientales, seguido de la descripción de los factores respecto del éxito, se explican los antecedentes de la evaluación de la política pública y se caracterizan los principales aspectos de las diferentes perspectivas aplicadas en los procesos de evaluación. En este sentido, destaca la importancia de incorporar el concepto del capital social a la evaluación, y finaliza con una reflexión sobre las redes sociales como método de valoración del capital social y los retos metodológicos que ello implica.

Palabras clave: capital social, redes sociales, pago por servicios ambientales.

1 INTRODUCCIÓN

El reconocimiento del deterioro ambiental ha puesto en la agenda pública las políticas de Pago por Servicios Ambientales relativas a la conservación de los ecosistemas forestales y preservación de los servicios ambientales, sin embargo estas han sido insuficientes para evitar el deterioro ambiental en México (Perevochtchikova, 2011). Al respecto se han desarrollado hasta el momento tres diferentes mecanismos de Pago por Servicios Ambientales, más aun la implementación de estos mecanismos tienen sus particularidades en cada caso, sin embargo con la intención de retroalimentar y mejorar las políticas ambientales, de acuerdo con el Sistema de Evaluación del Desempeño (SED) para los programas públicos federales, existe un proceso anual de evaluación¹. En este contexto de heterogeneidad de resultados surge la pregunta que guía esta reflexión ¿Qué determina el éxito del mecanismo Pago por Servicios Ambientales (PSA)?.

Diferenciando los mecanismos de PSA

En primer lugar, entiéndase el éxito del mecanismo de PSA, como el logro de la conservación a través del consenso y colaboración entre los usuarios del servicio ambiental y los proveedores del mismo, a fin de asegurar la preservación de los servicios ambientales. La idea central de los mecanismos de pago por servicios ambientales, es compensar a los poseedores de predios forestales para que estos no cambien el uso de suelo, y de tal forma se espera preservar los servicios ambientales que este territorio ofrece. En este orden de ideas, la tendencia de los proyectos de compensación por servicios

¹ Establecido por la Ley del Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria, mediante el cual se observa el cumplimiento de las metas y objetivos.



ambientales va al alta, ha crecido exponencialmente en los últimos diez años. Registros hasta el año 2012, muestran que se habían puesto en marcha 205 programas de conservación en cuencas hidrológicas y otras 73 estaban en desarrollo a nivel global, protegiendo bajo estos esquemas de conservación cerca de 200 mil hectáreas a nivel mundial (Mora, 2014).

Pero hay que considerar que la estructura y el funcionamiento de los proyectos de compensación de servicios ambientales son heterogéneos, dependen de las características de la región, así como del contexto sociopolítico en el que estos surgen. En México los mecanismos de pago por servicios ambientales, se implementan como política pública desde 2003, de acuerdo con la Ley general de desarrollo forestal sustentable, que enuncia y declara a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) como encargada de implementar la política pública de pago por servicios ambientales.

A la fecha, se han desarrollado tres modelos de atención que pueden complementarse en materia conservación: 1) El Programa de pago por servicios ambientales (a partir de 2003); 2) el esquema de Fondos concurrentes (a partir de 2008) para promover mecanismos locales de pago por servicios ambientales y 3) el Fondo patrimonial de biodiversidad (a partir de 2011).

El primer modelo, como Programa de pago por servicios ambientales tiene dos modalidades de pago: una es por servicios hidrológicos y la otra se refiere a captura de carbono y servicios derivados de la biodiversidad, fusionado desde 2006 en la estrategia nacional de conservación dentro del Programa ProArbol. Como compromiso los beneficiarios de este programa reciben un apoyo de compensación y deberán mantener la cobertura forestal de sus predios, por su parte la CONAFOR hace una evaluación anual vía satélite o con recorridos de campo para verificar el cumplimiento; si cumple tendrá el apoyo hasta por cinco años y adicionalmente puede recibir apoyo para pagar un asesor técnico que le ayude a planear de manera participativa las mejores prácticas de manejo.

El segundo modelo, se refiere a los Fondos concurrentes, que son un esquema que tiene como principal objetivo promover la concurrencia de recursos económicos entre usuarios interesados de los servicios ambientales, por su parte, la CONAFOR aporta hasta un 50% del monto para hacer los pagos a los poseedores de los terrenos forestales a través de un convenio de colaboración. En 2008 se firmaron 7 convenios que van de uno a 10 años de compromiso en una superficie estimada de 26 mil hectáreas.

La tercer modalidad, son los fondos patrimoniales de biodiversidad, que tienen por objeto generar un esquema de financiamiento a largo plazo que permita la conservación de sistemas que alberguen biodiversidad de importancia global. Bajo este esquema se estimó incorporar al menos 100 mil hectáreas y se estima incrementar el capital hasta los 200 millones de dólares al año 2025.

Los tres mecanismos tienen el fin de conservar los servicios ambientales, sin embargo no se puede decir que uno sea más exitoso que otro, aunque es cierto que hay experiencias que ofrecen mejores resultados que otros. En este sentido, es fundamental la cita de Merino (2011), quien indica que los resultados de la gestión de los servicios ambientales (en este caso PSA) pueden ser buenos o malos dependiendo del capital social y la estructura de incentivos vinculada con el caso.

De las experiencias de análisis hacia el capital social y redes sociales



A partir de lo anterior, se analizaron los hallazgos y resultados de diferentes aproximaciones al estudio de los mecanismos de pago por servicios ambientales, aunque a través de miradas diferentes, todas convergen y dan evidencia de la falta de coordinación entre los actores como variable explicativa de las limitantes de la política. A continuación (ver tabla 1), se presenta un análisis comparativo de estudios que evalúan los resultados e impactos de la política pública, realizados desde diferentes enfoques y métodos: el socio institucional, el multidisciplinario, la ecología política, la acción colectiva y otros. Se observan de forma cuantitativa y cualitativa los impactos en aspectos: económicos, ecológicos y sociales como resultante de una evaluación de la política, pero las conclusiones de tales estudios coinciden en referir como variable explicativa del limitado éxito a la falta de coordinación y colaboración. Abriendo la oportunidad al análisis desde la perspectiva de análisis de actores.

Tabla 5. Comparativo de estudios relativos al Pago por Servicios Ambientales

AUTOR	ESTUDIO	ENFOQUE	METODO	Variables	Indicadores	Hallazgos
PRISMA-2003	PSA en Las Americas	socio institucional	síntesis de lecciones internacionales (casos de estudio latino américa)	caracterización de los esquemas de compensación, caracterización del mecanismo de compensación, problemas relativos, oportunidades, balance y lecciones		Balance internacional de problemas (deficiencias de coordinación) y oportunidades, así como un marco analítico PSA, caracterización de esquemas de compensación
Perevochtchi kova 2010	estudio del proceso de implementación PSAH en DF	Socio institucional	análisis sistémico del proceso de implementación del programa	estructura: operativa, legal, institucional, económica	criterios de legibilidad, reglas, legislación y normativa, instituciones, sistema de pago tipo de propiedad	Fortalezas y debilidades (falta de coordinación) del proceso de implementación, recomendaciones de mejora al instrumento de PSA
Francisco Chapela Mendoza 2009	estudios de derechos colectivos y gestión de los servicios ambientales	acción colectiva	revisión documental	derecho colectivo de propiedad en constituciones	de propiedad	Caracterización América Latina (debilidades de cooperación)



Almeida et al. 2014	El PSA en México 2010: una evaluación multidisciplinaria	Multidisciplinario	encuestas percepción	económico, social, ambiental	hidrológicos, uso de suelo, cobertura, biodiversidad, impacto económico	recomendaciones al programa (fortalecer la cooperación entre las autoridades)
Gabriela de la Mora 2014	conservación de servicios ambientales hidrológicos y áreas naturales protegidas en la zona metropolitana de monterrey	perspectiva social	redes sociales	dinámicas entre actores, impactos en la gobernanza	densidad, jerarquía reticular, centralidad	Descripción de las dinámicas de interacción(lazos débiles entre)
Susana Estela Valle Garcia 2014	impacto social de los programas de conservación	ecología política	contra factual (antes y después)	efectos de la política ambiental	condiciones de vida, problemas ambientales de la localidad	cambios atribuibles a intervención gubernamental y otros procesos (micro-macro), recomienda reivindicar la participación de la población
Enrique Perez Campuzano 2014	actores, relaciones de poder e implicaciones para las políticas ambientales en el suelo de conservación del DF	actores sociales y políticos	reflexivo	gestión: actores/estrategias; espacio/conflicto; espacio/poder/legitimidad	gestión: reglas, tiempo de ejecución, supervisión y seguimiento; discurso y estrategias por agente; liderazgo	Privilegia análisis de actores y permite entender como políticas coherentes no han tenido éxito (por falta de coordinación y cooperación).
Angela Piedad Caro Borrero et al. 2014	Pago por servicios ambientales hidrológicos	Socio ambiental	análisis socio ecológico	socio ambiental; costo/remplazo tecnológico; participación (modelo econométrico)	tenencia de la tierra/vida comunitaria; flujo superficial de agua; asambleas por año	Valoración del costo de sustitución y recomendaciones al programa dirigido a incrementar la coordinación entre actores.
Iskra Rojo 2014	Percepción de los efectos del programa de pago por servicios ambientales	Social	análisis de percepción de efectos	efectos: operación del programa, ambientales, sociales	operación del programa(participación, objetivos, difusión), ambientales (problemas ambientales, capacitación, conciencia ambiental), sociales(negativos y positivos, cohesión social, vínculos, logros, fallas)	Existe heterogeneidad en las respuestas individuales y se evidencia la necesidad de datos duros, se recomienda generar monitoreo e indicadores, para fortalecer la comunicación con otros actores (usuarios).



Fuente: Elaboración propia con información de (Perevochtchikova, 2014)

Hace apenas una década que se van transformando estas perspectivas de análisis. Antes, se veía a la evaluación de las políticas públicas como un factor central en el conocimiento de los efectos que ciertas acciones de gobierno tienen en la sociedad. De a poco en poco, esto ha cambiado, ya que en términos generales, la política pública (con sus instrumentos) se concebía como lineal y en ella a una acción le correspondía un efecto positivo o negativo en términos sociales o económicos. Sobre esta base se construyeron los indicadores de evaluación e implementación, efectividad, costo beneficio, impacto u otros. Y aunque se admite que la política pública puede tener efectos colaterales, estos difícilmente se han medido. Aun mas, la política pública y su evaluación daban por sentado que los efectos que se medían eran el resultado únicamente sus acciones y no de una combinación de factores externos (Campuzano, 2014).

Pero actualmente, ha tomado relevancia el análisis de las redes de colaboración entre los principales actores sociales vinculados con la conservación de los recursos naturales y los esquemas de pago por servicios ambientales, así, encontramos dos ejemplos nacionales relativos a esta otra perspectiva: un trabajo en Monterrey relacionado con redes sociales en torno a la conservación de áreas naturales protegidas (Mora, 2014); y otro en el Distrito Federal sobre actores y relaciones de poder e implicaciones sobre la política ambiental (Campozano, 2014). La importancia de esta perspectiva es que considera a los actores parte de una red social, la cual pose capital social cuando tiene la capacidad de ampliar el espectro de recursos de cada uno de los agentes que la componen, poniendo la experiencia propia a disposición de otros para el logro del objetivo o de las metas comunes (Arriagada, 2006).

A su vez, el análisis de actores puede tener dos ópticas que se diferencian a continuación:

- 1) Analizar las dinámicas de interacción entre diversos actores sociales en el marco de los esquemas de pago por servicios ambientales.
- 2) Analizar los resultados que estas interacciones están teniendo en las dinámicas de gobernanza local. Entendida la gobernanza como los medios que permiten direccionar y coordinar acciones para la consecución de objetivos, individuales u organizacionales. En este contexto, la colaboración entre actores sociales y políticos juega un papel fundamental, considerando que se trata de las actividades que de manera conjunta llevan a cabo dos o más organizaciones con la intención de crear bienes y valores públicos mediante el trabajo conjunto.

Pero ambas perspectivas resaltan la necesidad de colaboración y coordinación para el logro de la conservación como objetivo de la política pública. Y ello sucede solo a través de la interacción de diferentes agentes, con mecanismos diferenciados. Retomando los diferentes mecanismos de pago por servicios ambientales (descritos líneas arriba), resalta el hecho de que cada mecanismo integra una red de actores particular, y su resultado de éxito o fracaso dependerá entonces de su del capital social de esta red.



2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para analizar la información se construyó una matriz que integraba el enfoque de análisis, el método y las variables de análisis por cada estudio referido. De acuerdo con la revisión bibliográfica los estudios de servicios ambientales y específicamente de mecanismo de pago por servicios ambientales resalta la importancia metodológica de estudios de caso como uno de los métodos más destacados en la exploración de PSA, y se puede observar un uso frecuente de las técnicas de observación participativa, con la aplicación de encuestas y entrevistas a los actores involucrados, así como también el uso de prácticas informales, basado en el enfoque de análisis de percepción de los efectos.

3 RESULTADOS

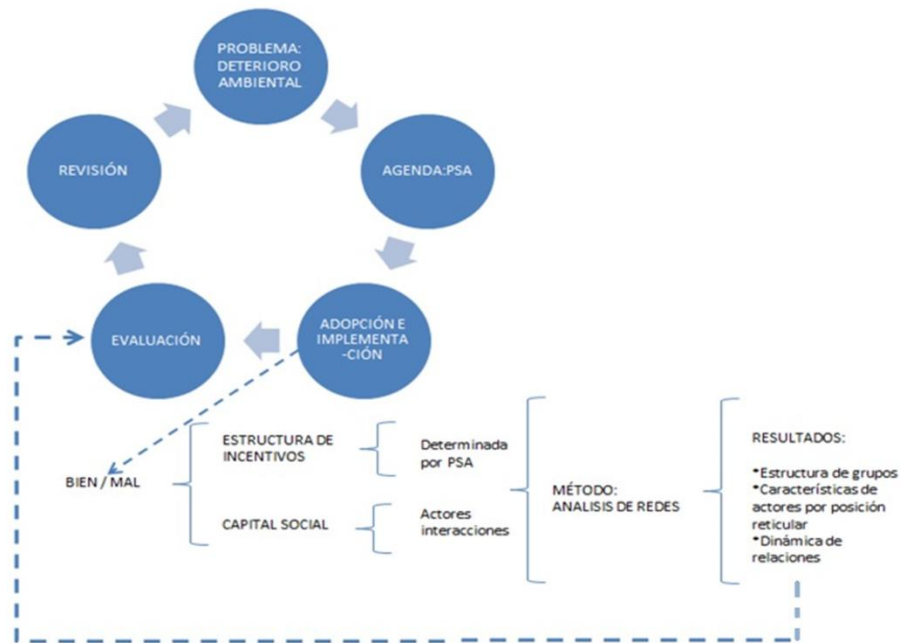
La revisión de los casos revisados, evidencian la necesidad de estudiar el capital social de las red de actores vinculados al pago por servicios ambientales, en este curso de ideas resulta la propuesta metodológica que se describe a continuación, si bien es una aproximación que derivada de las reflexiones líneas arriba, su aporte consiste en el alcance propositivo para evaluar el capital social en el marco de los mecanismos de pago por servicios ambientales. Ahora, considerando que existen tres mecanismos diferentes de PSA, y cada uno le corresponde una red particular de actores, y a su vez el tipo de capital social que estos agentes desarrollan, podría ser de alguno de los tres diferentes niveles:

- “la cohesión” entre agentes, que se observa en la comunidad, familia o grupos pequeños.
- “de enlace”, que se refiere a los intercambios entre grupos similares, como gremios o comunidades en torno a una misma temática
- “de puente”, que se refiere al capital entre grupos de distintas jerarquías y funciones, es el que se analiza en esta investigación.

En términos generales, en el diagrama metodológico el capital social en la política de pago por servicios ambientales, se entiende como un recurso propio de la colectividad (de los actores involucrados en la política de pago por servicios ambientales) que permite generar institucionalidad formal e informal a través de las normas y valores definidos entre los individuos y/o grupos, lo cual determina las prácticas de relación entre los diferentes miembros del sistema y determina los beneficios en el tiempo.

Respecto del diagrama de investigación: el pago de servicios ambientales está representado como un ciclo de cinco etapas que va desde la definición del problema público, pasa por el diseño, la agenda y sigue la implementación que es donde los actores interactúan para el cumplimiento de los objetivos y se puede medir el capital social (de puente), visto este capital como un recurso disponible para procurar el éxito de la política pública. (Ver ilustración).

Ilustración 1. Capital social en el pago por servicios ambientales



4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Es un reto, medir el capital social en los mecanismos de pago por servicios ambientales, no existen metodologías únicas, ni exactas, sin embargo entendido el capital social como un recurso propio de la colectividad (de los actores involucrados en la política de pago por servicios ambientales) que permite generar institucionalidad formal e informal a través de las normas y valores definidos entre los individuos y/o grupos, lo cual determina las prácticas de relación entre los diferentes miembros del sistema y determina los beneficios en el tiempo, esta propuesta de diseño metodológico es una aproximación exploratoria. Los resultados de un análisis con este cohorte evidencian características y cualidades de la organización entre actores, permitirá determinar la estructura de incentivos que guía las interacciones y con ello haremos una prospectiva en el marco de los alcances teóricos; lo cual aporta información valiosa sobre las estrategias de coordinación y en general para los mecanismos locales de gestión ambiental.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradezco su orientación al Dr. Heriberto Cruz por su apoyo y orientación en el proceso de diseño de protocolo del programa Ciudad, Territorio y Sustentabilidad.



6. LITERATURA CITADA

- Arriagada, I. (2006). *Breve guía para la aplicación del enfoque de capital social en los programas de pobreza*. Chile: CEPAL.
- Campozano, E. P. (2014). Actores, relaciones de poder e implicaciones para las políticas ambientales en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. En M. Perevochtchikova, *Pago por servicios ambientales en México* (págs. 219-237). México: Colegio de México.
- Campuzano, E. P. (2014). Actores, relaciones de poder e implicaciones para las políticas ambientales en el suelo de conservación del Distrito Federal. En M. Perevochtchikova, *Pago por servicios Ambientales en México* (págs. 219-236). México: COLMEX.
- Merino, L. (2014). Servicios ambientales y capital social. En M. Perivochtchikova, *Pago por servicios ambientales en México* (págs. 85-97). MÉXICO: COLMEX.
- Mora, G. d. (2014). Conservación de servicios ambientales hidrológicos y áreas naturales protegidas en la Zona Metropolitana de Monterrey. En M. Perevochtchikova, *Pago por servicios ambientales en México* (págs. 181-197). MÉXICO: COLMEX-CEDUA.
- Perevochtchikova, M. (2014). *Pago por servicios ambientales en México*. México: COLMEX.



Extenso ID: 169. María Perevochtchikova^a. EVALUACIÓN INTEGRADA DE EFECTOS DE PROGRAMA DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS EN AJUSCO, DISTRITO FEDERAL

[Regresar al índice](#)

^a CEDUA, El Colegio de México A.C., Camino al Ajusco, 20, Ciudad de México, email: mperevochtchikova@Colmex.mx

RESUMEN

En este trabajo se evalúan los efectos de la implementación del programa federal del Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en México, administrado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) desde 2003. El programa implica compensaciones económicas por la conservación forestal y la realización de determinadas actividades en los territorios que poseen recursos forestales (mayoritariamente de propiedad colectiva). El análisis se realizó para el caso de estudio de la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, la Ciudad de México, basándose en el marco de Capital Comunitario que integra capitales natural, social y humano, y financiero y construido. Metodológicamente incluyó cinco etapas de trabajo: i) recopilación y sistematización de la información disponible; ii) análisis social (con base en entrevistas y encuestas a los comuneros y la CONAFOR), iii) análisis económico (por métodos de valoración económico-ambiental con costo de oportunidad), y iv) estudio natural (con el desarrollo de trabajo de gabinete y campo para estudio hidroclimatológico); con consecuente etapa v) de integración de observaciones finales. De este modo para los efectos sociales se identificaron divergencias y convergencias en la percepción de los actores, con una tendencia en general de efectos positivos percibidos; en términos económicos no se vio la efectividad del programa; y en los efectos ambientales se observó un gran potencial de proveer de los servicios ecosistémicos hídricos de esta zona. Lo que, visto dentro de los escenarios de deforestación, requeriría más atención, capacitaciones, alineamiento de los instrumentos de política pública en este territorio y la implementación de esquemas de monitoreo para determinar los efectos a largo plazo.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos forestales, programa de pago, política pública, evaluación socio-ambiental.

1 INTRODUCCIÓN

A partir del Protocolo de Kyoto, en 1997, se impulsó el proceso de implementación de los mecanismos de compensación económica para la conservación ambiental a escala mundial, donde se aprecia una diferencia marcada en los términos utilizados, como el de servicios ambientales (SA) y el de servicios ecosistémicos (SE). Es importante señalar que los primeros se usan con frecuencia en la determinación política que supone un sentido más amplio en relación con aspectos, como la economía, la gestión ambiental y la ecología política; mientras que los de SE se abordan desde el enfoque ecológico proveniente del concepto de “ecosistema” (Perevochtchikova, 2014). El mecanismo de compensación



económica (o Pago) por Servicios Ambientales (PSA) es una de las herramientas de política pública ambiental que fue desarrollada con el propósito de mitigar la degradación ambiental, a la vez que pretende mejorar el bienestar humano mediante la realización de actividades que garanticen la permanencia y calidad de los ecosistemas a largo plazo a cambio de compensaciones económicas (Fregoso, 2006; DDS-OEA, 2008). De esta forma, este esquema parte de la lógica ecológica (de que un buen estado de los ecosistemas es central para la conservación de sus servicios), y la económica (de que los mercados y pagos asumen la internalización de las externalidades) (Martínez-Alier y Roca, 2001; McElwee, 2012), que propician posibilidades de manejo alternativo de los recursos naturales (Cordero, 2008; Kosoy *et al.*, 2008).

Los esquemas de PSA *per se* se definen como instrumentos financieros de compensación, que aseguran la conservación de los servicios ecosistémicos, representados a escala local y global (Fisher *et al.*, 2009), al concederles un valor económico (NRC, 2005). Lo que consiste en una transacción voluntaria monetaria o en especie (Brüschweiler *et al.*, 2004:23), por los servicios ecosistémicos bien definidos, que se convierte en una “compra” por parte de al menos un usuario de estos servicios a su proveedor (Wunder, 2005). En relación con esto, es importante remarcar que existe una serie de actores involucrados directamente en el funcionamiento de los esquemas de PSA: i) los proveedores de los servicios (normalmente los propietarios de terrenos que poseen los recursos naturales y quienes se benefician del pago, renunciando a otros usos del suelo potencialmente económicamente más atractivos) y ii) los usuarios de estos servicios (que puede ser una población, un sector industrial o el gobierno). En los programas federales es el gobierno quien administra y financia este tipo de mecanismos, adaptando el papel de usuarios (sobre todo cuando los últimos no están bien definidos). Pero existen otros intermediarios que ayudan a gestionar los programas de compensación, como las Organizaciones No Gubernamentales (ONG) o los gobiernos a nivel estatal y municipal, en caso de la creación de iniciativas a escala local y el apoyo de fondos mixtos (Perevochtchikova, 2014).

En los esquemas de conservación *forestal* (que abarcan “temáticamente” servicios de biodiversidad, hidrológicos y culturales) se han creado diversos formatos de apoyo, por ejemplo, de financiamiento federal, de coinversión de fondos, incluyendo las aportaciones del sector gubernamental y el privado (como los existentes en Costa Rica, Ecuador, Nicaragua, etc.), y se han formulado programas de conservación de importancia global, además de la certificación forestal y otras modalidades de compensación monetaria o en especie (Engel *et al.*, 2008). En el caso específico del esquema de compensación o Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) referido al bosque, como es el caso del programa federal mexicano llevado a cabo por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) desde 2003 a la actualidad, la idea se concentra en el otorgamiento de 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 el fin de proporcionar diversos SE hidrológicos a la población cuenca abajo, lo cual asegura el consumo de agua, la regulación del ciclo hídrico, la captación e infiltración del agua, la reducción de sedimentos, etc. (Cordero, 2008; Perevochtchikova *et al.*, 2015).

La implementación de los instrumentos de compensación por los SE/SA en la política pública ha impulsado un creciente interés por parte del sector académico hacia su estudio, que han sido abarcados en la vertiente de los PSA desde diversas teorías, como la economía ecológica, el neoinstitucionalismo,



las redes de poder, etc., en tanto que los servicios ecosistémicos han sido analizados desde distintas disciplinas vinculadas con la ecología. En específico, los SE hidrológicos se han estudiado desde las ciencias de la geología, la hidrogeología (con base en la teoría de flujos de agua subterránea) y la hidrología superficial (con cálculos de balance hídrico); los SE de biodiversidad desde la biología (diversidad biológica); los de captura de carbono desde la biología (microbiología molecular) y los SE socioculturales desde las teorías sociales, como la de recursos de uso común y acción colectiva, entre otros (Perevochtchikova and Oggioni, 2014).

Por otro lado, existen evaluaciones de los programas de PSA desde el ámbito institucional y académico (Cortina y Saldaña, 2014). En comparación de los trabajos que se enfocan en el análisis del desempeño del PSAH a partir de la evaluación de su efectividad y eficiencia, o evalúan su focalización, adicionalidad, problemática de monitoreo de manera parcial, el desarrollo de este estudio se apoya en el marco teórico-conceptual del “Capital Comunitario” (Brandon y Lombardi, 2011). El que representa una integración de capitales en forma piramidal, donde se parte del capital natural (considerado su fundamento), en el cual se basa la construcción del social y humano, y finalmente es seguido por el capital construido y financiero (referido a la creación de beneficios sociales y económicos para la sociedad). Con el uso de los conceptos de Servicios Ambientales Hidrológicos (SAH) y de Recursos de Uso Común (RUC), dentro del binomio denominado “bosque-productor de agua”.

De esta manera, y como lo sugiere el marco teórico-conceptual, aquí se procedió metodológicamente con el estudio de caso por capital (social, económico y natural), con la posterior sistematización de los resultados y una reflexión integrada. Para esto se determinaron las técnicas correspondientes para el análisis de cada componente -por capital-, las cuales se basaron en los trabajos de gabinete (con la revisión bibliográfica de los materiales disponibles y la generación de la base de datos en el Sistema de Información Geográfica) y de campo (con técnicas específicas establecidas, como la aplicación de entrevistas y encuestas, y las mediciones *in situ* de la calidad y cantidad del agua, con el análisis espacial de la deforestación).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

En la pirámide del marco teórico-conceptual del Capital Comunitario, las interacciones entre los tres capitales se basan en el análisis multi-nivel y multi-modal, con una propuesta de diversos aspectos que pueden ser considerados para la planeación territorial y el estudio socio-ambiental (Brandon and Lombardi, 2011:144). Incluso en su segundo nivel de variables a considerar se presentan situaciones de interacción directa entre los capitales, con aspectos comunes en su interpretación y estudio. Por ejemplo, entre el capital natural y cultural se encuentra la calidad ambiental y física que puede medirse a través de la percepción social (Figura 1).

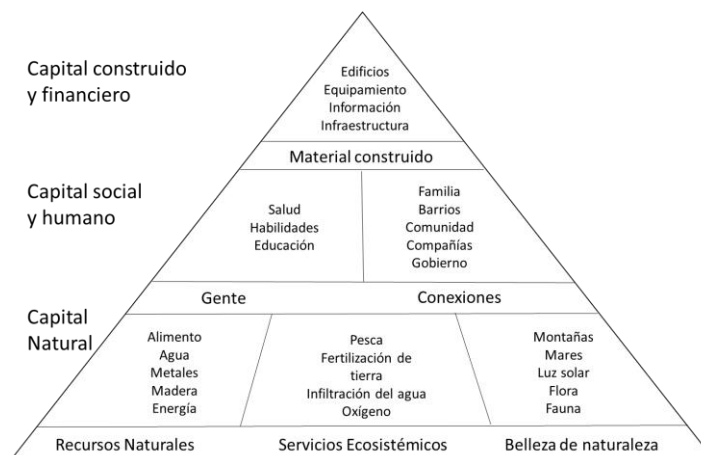


Figura 1. Marco teórico-conceptual de Capital Comunitario (Fuente: Traducido y adaptado de Brandon y Lombardi, 2011:59).

Tal como lo determina el marco teórico-conceptual de Capital Comunitario, para el presente estudio se propuso llevar a cabo el análisis de interacción por tres capitales (el natural, el social, y el construido y financiero), siguiendo las líneas lógicas propuestas por Brandon y Lombardi (2011). Empezando por capital social como nivel central que tiene inferencia directa en los demás niveles, seguido por el construido y financiero (su punto máximo de construcción), y finalizando con el estudio del capital natural, entendido como la base y el sustento para los demás procesos de interacción de los capitales (Tabla 1).

Tabla 1. Capitales estudiados con sus niveles de interacción.

Capital (1er nivel)	Característica (2do nivel)	Multi-modal	Aspecto a considerar
Capital Natural	Calidad	Físico	Ambiente físico (calidad del ambiente)
		Biológico	Protección ecológica y Biodiversidad
Capital Social		Desarrollo	Sensible
Capital Financiero	Social		Clima social, relaciones sociales, cohesión social
	Económico		Eficiencia económica
	Gobernanza	Jurídico	Derechos y obligaciones (marco legal)

Fuente: elaboración propia con base en la propuesta de Brandon y Lombardi (2011:144).

Para el estudio de cada capital se adaptaron sus propias herramientas para un mejor entendimiento de los procesos de interacción surgidos dentro del establecimiento y el desarrollo de los programas gubernamentales de Pago por Servicios Ambientales, PSA (Tabla 2). Esto requirió una profunda revisión bibliográfica del tema (Perevotchikova and Oggioni, 2014), enfocada en el estudio de caso, como lo sugiere Poteete *et al.* (2012), debido a que un estudio de caso permite visualizar detalles



necesarios para el descubrimiento de las causas y consecuencias de un problema socio-ambiental, y además facilita la integración de los resultados multi-dimensionales, bajo las condiciones propicias de trabajo en un equipo interdisciplinario e interinstitucional.

Tabla 2. Metodología propuesta para el estudio.

Capital y su 2do nivel de variables	Objetivos específicos	Teoría aplicada	Método y técnicas propuestas	Autores de referencia
Capital Social (Calidad y Desarrollo)	Entender cómo funciona la organización comunitaria. Determinar los efectos sociales y económicos. Contribuir a la capacitación de técnicos comunitarios	Acción colectiva	Entrevistas, Aplicación de encuestas a actores clave, comuneros (trabajadores PSA y Asamblea), Procesamiento en gabinete; Seminarios	Poteete <i>et al.</i> , 2012 Almaraz Vázquez, 2014 Perevochtchikova and Rojo, 2015
Capital Financiero (Desarrollo)	Estimar la Disposición a Aceptar (DAA) y el valor económico-ambiental del bosque	Valoración contingente	Aplicación de técnicas de valoración económica	De Groot <i>et al.</i> , 2002 Martínez Jiménez, 2015
Capital Natural (Calidad)	Entender el funcionamiento de flujos de agua superficial y subterránea; Medir la cantidad y calidad del agua; Implementar un esquema de monitoreo participativo; Comprender el Cambio de Uso del Suelo; Proyectar la deforestación	Teoría de flujos de agua subterránea	Salidas de campo y trabajo de gabinete, Registro de manantiales, escurrimientos, Mediciones <i>in situ</i> , pruebas de la calidad del agua, Aplicación de técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG)	Toth, 2000 IG-UNAM, 2005 Saavedra <i>et al.</i> , 2011 Perevochtchikova <i>et al.</i> , 2015

Fuente: elaboración propia.

Así, metodológicamente el trabajo incluyó cinco etapas en su desarrollo: i) recopilación y sistematización de la información disponible; ii) análisis social (con base en entrevistas y encuestas a los comuneros y la CONAFOR), iii) análisis económico (por métodos de valoración económico-ambiental con costo de oportunidad), y iv) estudio natural (con el desarrollo de trabajo de gabinete y campo para estudio hidroclimatológico); con consecuente etapa v) de integración de observaciones finales. El estudio de caso se desarrolló sobre la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, ubicada en parte sur de la Ciudad de México, por el interés en trabajar en una zona periférica que padece una fuerte presión urbana, y aprovechando la experiencia en un proyecto anterior realizado en el Suelo de Conservación (Pérez-Campuzano *et al.*, 2011, 2016). En este sentido se establecieron las relaciones de trabajo con la comunidad desde el 2012, las cuales se formalizaron con la firma de un

convenio de colaboración, lo que por su parte ha abierto las puertas para la investigación, con constante apoyo y el acompañamiento de la comunidad.

3 RESULTADOS

La comunidad (los Bienes Comunales) de San Miguel y Santo Tomás Ajusco se ubica al suroeste de la Ciudad de México, la capital del país (Figura 2). La que por su parte se encuentra subdividida en suelo urbano de 61082 ha de extensión (41%) y el Suelo de Conservación (SC) de 88442 ha (59%) (PAOT, 2012), donde se presencia aproximadamente un 12% de la biodiversidad nacional (PAOT, 2005).

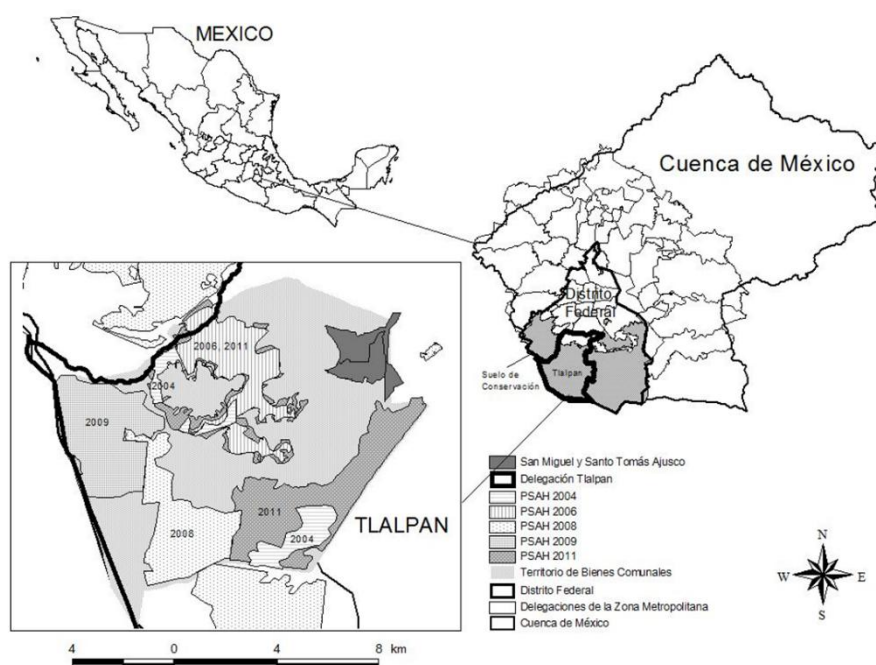


Figura 2. Zonas de PSAH en la comunidad (Fuente: elaboración propia con datos de CONAFOR, 2015).

De acuerdo con el Departamento de Asuntos Agrarios y Colonización (DOF, 1975), la comunidad cuenta con 7619.2 hectáreas y 604 comuneros que poseen título de la propiedad de la tierra, y está dividido desde su fundación en dos barrios, San Miguel y Santo Tomás Ajusco. Dentro de la delimitación administrativa, la comunidad pertenece a la delegación Tlalpan, en la que se reconocen en total “ocho pueblos originarios”. La presencia de estos pueblos (comunidades rurales) ha tenido un contexto histórico importante desde los tiempos prehispánicos, que en las últimas décadas se ha visto afectado debido a la expansión urbana de la Ciudad de México (Almaraz, 2014).

La implementación del programa federal de PSA en modalidad de hidrológicos (PSAH) empezó en el Suelo de Conservación en 2003 con cuatro ejidos y comunidades, a los que han sido sumándose otros núcleos agrarios forestales, incorporando para 2010 una superficie de 39 mil ha (en la actualidad aún más) con cerca de 46 millones de pesos invertidos (Sandoval y Gutiérrez, 2012). Lo cual demuestra un



creciente interés de los propietarios de los predios que se encuentran en el Suelo de Conservación por acceder a los apoyos del programa de PSAH. Por su parte, la comunidad de San Miguel y Santo Tomas Ajusco es una de las comunidades que se unió al programa de PSAH desde su inicio, aprobando a través de su Asamblea Comunal la participación en el programa, e incorporando a lo largo de los años un total de cerca de cinco mil ha (Perevochtchikova y Rojo, 2015) (Tabla 2 y Figura 2).

Tabla 8. El programa de PSAH en la comunidad.

Periodo	Hectáreas incorporadas	Montos recibidos por 5 años
2004-2009	430	645,000
2006-2011	895.99	1,417,579
2008-2013	947.11	1,815,989
2009-2014	1,156.90	2,060,438
2011-2016	2,614.81	5,214,287

Fuente: elaboración propia con datos de Sandoval y Gutiérrez, 2012; y entrevista CONAFOR, 2016.

Adicionalmente, en 2012 la comunidad entró con 220 ha por el periodo de 3 años al mecanismo de Fondos Concurrentes firmado entre la CONAFOR y los Ingenieros Civiles Asociados (ICA), con el apoyo económico más alto del país (1600 pesos mexicanos por hectárea por año), y siendo el primero en aplicarse en el Distrito Federal. Este esquema supone una aportación conjunta y equitativa de montos por parte de la CONAFOR y otra institución (el ICA) para poder aumentar el pago por los SE y ser más atractivo para los propietarios del bosque, además de poder realizar el monitoreo, en este caso acordado como observación de hongos propuesto por la Universidad Nacional Autónoma de México y aprobado por el Fondo; sin ningún otro compromiso social o ambiental adicional asumido (CONAFOR, 2012).

A partir de la realización de los estudios por capital, desarrollados con base en la propuesta metodológica presentada en la Tabla 2, además acompañado por una descripción del contexto geográfico y de las condiciones socio-económicas y naturales del territorio de la comunidad, se pudo llegar a obtener la siguiente síntesis de los principales resultados (véase Tabla 3).

Tabla 3. Síntesis de los efectos del PSAH en la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco.

Capital	2do nivel de variables	Multi-modal	Aspectos analizados	Síntesis de resultados
Capital Natural <i>(referido a sus componentes, como “Recursos Naturales” – Agua; “Servicios Ecosistémicos” – Infiltración del agua, y “Belleza de naturaleza” - Montañas)</i>	Calidad	Físico	Ambiente físico: se consideró la caracterización hidro-climatológica regional y local, con la medición de la calidad y la cantidad del agua	El territorio de la comunidad posee altos potenciales de ofrecer servicios ecosistémicos hídricos; hace falta emplear el monitoreo continuo de la calidad del agua (y ambiental)
		Biológico	Protección ecológica y Biodiversidad: se revisó la problemática de la deforestación y su proyección a futuro, se construyeron los perfiles transversales con el uso del suelo y vegetación	Se determinaron las características naturales que propician las condiciones para el ofrecimiento de los SE; la problemática de la deforestación continúa, el programa de PSAH es importante, pero sin impacto significativo
Capital Social <i>(referido a su componente como “Conexiones” – Comunidad y Gobierno)</i>	Desarrollo	Sensible (término del marco conceptual)	Percepción de la gente acerca del ambiente: se analizó la percepción social acerca de los efectos del programa en la comunidad (social y económico) y sobre el ambiente (bosque)	La percepción general es generalmente positiva sobre la implementación del PSAH en la comunidad; pero se detectan varios problemas ambientales; pero con crecimiento de la conciencia ambiental; y resaltada importancia de la administración en curso y sus prioridades
		Social	Clima social, relaciones sociales, cohesión social: se estudió con base en la percepción social el efecto social de la aplicación del PSAH (cohesión social, conflictos, problemas detectados)	Se determinaron los efectos sociales positivos, sobre todo en los que directamente se involucran en el PSAH; se potencia la cohesión social en este grupo; pero se generan conflictos internos y al exterior de la comunidad por varios motivos



Capital Financiero <i>(referido a su componente, como "Material construido" – Información, Infraestructura)</i>		Económico	Eficiencia económica: se desarrolló el ejercicio de la evaluación económica-ambiental del valor del bosque de la comunidad	Se calculó el valor de disposición a aceptar en dos ejercicios cercano al valor del bosque por valoración económica-ambiental realizada, que representa alto costo de oportunidad en la zona, donde el pago por PSAH consiste en sólo 3% del valor determinado
---	--	-----------	--	--

Fuente: elaboración propia con base en los resultados del proyecto.

Con estos resultados se puede observar que, en general, los actores involucrados en el proceso de la implementación del programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en la zona de estudio, perciben que éste ha producido varios efectos positivos. Sobre todo, se resalta la opinión de la Comisión Nacional Forestal quién administra el programa, y hace referencia a muchos cambios positivos surgidos dentro del programa y su constante mejoría a lo largo del tiempo, con base en mecanismos de consulta, así como en la respuesta de las comunidades en relación a una mayor apertura reflejada en el aumento de superficie, monto, sitios, con constante ahora acompañamiento por técnicos forestales, el desarrollo de Plan de Mejores Prácticas de Manejo, talleres, capacitaciones, etc. Sin embargo, entre el grupo de comuneros, la opinión se divide entre quienes directamente participan en los trabajos/acciones de conservación forestal y así conocen mejor el programa y además obtienen recursos por su labor, y los representantes de la Asamblea General comunitaria, quienes prácticamente no conocen el instrumento, ni obtienen ingreso de éste, por lo que no detectan ningún beneficio tangible para ellos.

Es importante comentar sobre la aparición de algunos efectos adversos por la aplicación del PSAH en la comunidad, como la generación de conflictos al interior y exterior debido a la distribución no transparente de recursos económicos, no control del desarrollo de prácticas extractivas en el territorio forestal, las preferencias marcadas en la asignación de responsabilidades y actividades, falta de la unión entre la población para el desarrollo de las actividades forestales, y otros de los límites territoriales con comunidades vecinas, entre otras causas. Pero más grave aún, ha sido la detección del problema del cambio de la administración comunitaria cada tres años, con consecuente giro en las prioridades y la falta de medidas de control hacia las actividades de extracción de madera, suelo, agua y piedras que se realizan en la comunidad. Lo que puede llegar a impedir la continuación de las actividades de conservación forestal y su deterioro constante, incluso llevando a las situaciones de aplicación de sanciones por parte de las instancias gubernamentales, quienes otorgan diversos subsidios, como ya ha sucedido en la comunidad.

Por otro lado, en términos ambientales se destaca el alto potencial del sitio para el ofrecimiento de los diversos servicios ecosistémicos, en particular hidrológicos, relacionados con los procesos de regulación del ciclo hídrico, y las capacidades de infiltración de agua, vinculados a las condiciones naturales (como geología, geomorfología, edafología, clima). Esto determina un amplio rango de servicios hidrológicos que potencialmente se producen en el territorio de la comunidad y su



importancia regional para toda la Ciudad de México y las comunidades vecinas, por ejemplo del abastecimiento de agua potable por la captura directa del flujo de los manantiales por el sistema de distribución oficial y la recarga de acuíferos, el control de inundaciones y de sedimento cuenca arriba; e incluso de salud, en caso de la preservación y control de la calidad del agua captada. Sin embargo, es indispensable mencionar que la zona no sólo posee estas potencialidades, sino por el ecosistema asociado (el bosque), ofrece los servicios ecosistémicos de captura de carbono y de biodiversidad; por lo que podría ser considerado como el productor de un “paquete” de servicios ecosistémicos.

Respecto a la parte económica, se observa que el costo de oportunidad de la tierra es muy alto en esta zona dada su ubicación en el espacio peri-urbano de la capital del país, y sus características naturales. Por lo que los efectos de la implementación del PSAH en este sentido, se encuentran limitados, descritos como mínimos y temporales, relacionados con un ingreso muy bajo por las actividades desarrolladas en un periodo corto de tiempo, en cuando se emplean estas labores. Esta situación ha llevado a la imposibilidad de frenar el cambio de uso del suelo para actividades agrícolas y de uso urbano principalmente, y consecuente ha mostrado la pérdida de la cubierta forestal, con una tendencia completamente preocupante de la deforestación, y proyecciones a 2030 de hasta una tercera parte de la superficie forestal actual de la comunidad.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Viendo los primeros resultados acerca de los efectos positivos y negativos de la implementación de los mecanismos de compensación por conservación forestal, como es el programa federal de PSAH, se confirma que éste no debería considerarse como una panacea, sino como una de las herramientas de política pública que debe acompañarse y alinearse con otras acciones estratégicas, como ordenamiento ecológico y de planeación territorial a multi-nivel y multi-escala. Sobre todo, bajo el fuerte compromiso de la comunidad dentro de estas tareas, para que los instrumentos de planeación no sean sólo otro requisito para la búsqueda de diversos apoyos y/o subsidios gubernamentales, sino que sean considerados como instrumentos de manejo y control de su propio territorio, los recursos naturales y las acciones que se llevan a cabo para su conservación.

Además, se sugiere continuar con los estudios de los procesos y los impactos del programa de PSAH, con la implementación de esquemas de monitoreo ambiental participativo y a largo plazo (de la calidad del agua, de las especies nativas, etc.). En particular, incorporando otros temas, como el desarrollo de un marco de indicadores para su evaluación integral, la inclusión de los escenarios del cambio climático y de medidas de adaptación, el análisis de los escenarios de acción colectiva bajo diversos estresores externos, la influencia del contexto en el éxito de programas de conservación, el estudio del proceso y la satisfacción del acompañamiento por parte de los técnicos forestales certificados por la CONAFOR y su desempeño en las comunidades, además de la formación y acciones desarrolladas dentro de las redes de poder, entre otros más.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al CONACYT por el financiamiento de los proyectos de Ciencia Básica 155039 y Problemas Nacionales 246947; a la comunidad de San Miguel y Santo Tomás por su constante apoyo;



a la CONAFOR por las entrevistas concedidas; y a todo el equipo de trabajo del proyecto: *Iskra A. Rojo Negrete, Teyeliz Martínez Jiménez, Zenia Saavedra Díaz, María Nely Almaraz, Nidya Aponte Hernández, Julia Oggioni, Natalia Lukianova, Sandra Martínez, María Emilia Zabala, Eduardo Sandoval Romero, Oscar Escolero, Enrique Pérez Campuzano, Sophie Ávila Foucat, Verhónica Zamudio y Balam Castro*, sin quienes no fuera posible el desarrollo de los proyectos.

6. LITERATURA CITADA

- Almaraz Vázquez, M.N., 2014. *Servicios ambientales forestales y prácticas de aprovechamiento de Recursos de Uso Común en el Suelo de Conservación del Distrito Federal: Caso de estudio los B.C. San Miguel y Santo Tomás Ajusco*. Tesis de licenciatura en Geografía, FFL-UNAM, México.
- Brandon, P.S. and P. Lombardi, 2011. *Evaluating Sustainable Development in the Built Environment*. Wiley-Blackwell, UK.
- Brüschweiler, S., Höggel, U. y A. Kläy, 2004. Los bosques y el agua: interrelaciones y su manejo. Disponible en web: http://www.cde.unibe.ch/Themes/pdf/bosques_y_agua.pdf (25/06/2015).
- CONAFOR, 2012. *Se suman comunidades del Ajusco al esquema de Pago por Servicios Ambientales*. CONAFOR, México. Disponible en web: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/3238Iniciativa%20privada%20participa%20en%20%20PSA%20.pdf> (10/03/2016).
- CONAFOR, 2015. *Base de datos de los sitios receptores de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en México, 2003-2015*. CONAFOR, México.
- 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.
- Cortina Segovia, S. y A. Saldaña Espejel, 2014. Retos de la evaluación del Programa de Pago por Servicios Ambientales de la Comisión Nacional Forestal. En: Perevochtchikova, M. (coord.) "Pago por Servicios Ambientales en México. Un acercamiento para su estudio", COLMEX, México, pp.133-154.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A. and R.M.J. Boumans, 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41:393-408.
- Departamento de Desarrollo Sostenible, Organización de Estados Americanos (DDS-OEA), 2008. *Guía Conceptual y Metodológica para el Diseño de Esquemas de Pagos por Servicios Ambientales en Latino-América y el Caribe*. DDS-OEA, Washington DC, USA.
- DOF, 1975. *Resolución sobre reconocimiento y titulación de bienes comunales del poblado denominado San Miguel Ajusco, Delegación de Tlalpan, DF*. GDF; México, DOF 03/01/1975.
- Engel, S., Pagiola, S and S. Wunder, 2008. Designing Payments for Environmental Services in theory and practice: an overview of the issues. *Ecological Economics* 65:663-674.



- Fregoso, A., 2006. La oferta y el pago de los servicios ambientales hídricos: una comparación de diversos estudios. *Gaceta Ecológica* 78: 29-46.
- Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (IG-UNAM), 2005. *Definición de indicadores de impacto al recurso hídrico en zonas receptoras de pago por servicios ambientales hidrológicos 2003-2004*. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Kosoy, N., Corbera, E. and K. Brown, 2008. Participation in payments for ecosystem services: Case studies from the Lacandon rainforest, Mexico. *Geoforum* 39: 2073–2083.
- Martínez-Alier, J. y J.Roca Jusment, 2001. *Economía ecológica y política ambiental*. 2da edición, Fondo de cultura económica de España, España.
- McElwee, P.D., 2012. Payments for environmental services as neoliberal market-based forest conservation in Vietnam: Panacea or problem? *Geoforum* 43:412–426.
- Martínez Jiménez, T.E., 2015. *Valoración económica del Suelo de Conservación en un contexto periurbano. Caso de estudio de la Delegación Tlalpan*. Tesis de Maestría en Estudios Urbanos, CEDUA-COLMEX, México.
- National Research Council (NRC), 2005. *Valuing Ecosystem Services. Toward Better Environmental Decision-making*. NRC, National Academies, The National Academy Press, Washington, USA.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT), 2005. *El Elementos para una gestión adecuada del Suelo de Conservación del Distrito Federal*. Documento de trabajo, PAOT, México. Disponible en web: <http://www.paot.org.mx/centro/temas/suelo/docpaot/refsc.pdf> (15/10/2015).
- PAOT, 2012. *Atlas geográfico del Suelo de Conservación del Distrito Federal*. PAOT, SEDEMA, México.
- Perevochtchikova, M. (coord.), 2014c. Pago por Servicios Ambientales en México. Un acercamiento para su estudio. México, COLMEX.
- Perevochtchikova, M. and J. Oggioni, 2014. Global and Mexican analytical review of the state of art on Ecosystem and Environmental services: a geographical approach. *Investigaciones Geográficas* 85:47-65, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.
- Perevochtchikova, M., Rojo Negrete, I.A., Martínez, S. y G. Fuentes Mariles, 2015. Análisis hidro-climatológico para la evaluación de los efectos del programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos. Caso de estudio de la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 11(1):46-55.
- Perevochtchikova, M. and I.A. Rojo Negrete, 2015. The perceptions about payment schemes for ecosystem services: Study case of the San Miguel and Santo Tomás Ajusco community, Mexico. *Ecosystem Services* 14:27-36.
- Pérez-Campuzano E., Perevochtchikova, M. y Ávila Foucat, V.S. (coord.), 2011. *Suelo de Conservación del Distrito Federal: ¿hacia una gestión y manejo sustentable?* Serie de Estudios Urbanos. Instituto Politécnico Nacional, Miguel Ángel Porrúa, México.



- Pérez-Campuzano, E., Avila Foucat, V.S. and M. Perevochtchikova, 2016. Environmental policies in the peri-urban area of Mexico City: The perceived effects of three environmental programs. *Cities* 50:129-136.
- Poteete, A.R., Janssen, M.A. y E. Ostrom, 2012. *Trabajar juntos. Acción colectiva, Bienes comunes y múltiples métodos en la práctica*. UNAM, México.
- Sandoval, E. y J. Gutiérrez, 2012. Servicios Ambientales, experiencia federal en el Distrito Federal. En: Campuzano *et. al.* (coord.) “Hacia un manejo sustentable del Suelo de Conservación del Distrito Federal”, IPN, MA Porrúa, México, pp.74-79.
- Saavedra, Z., Ojeda Revah, L. and F. López Barrera, 2011. Identification of threatened areas of environmental value in the Conservation Area of Mexico City, and setting priorities for their protection. *Investigaciones Geográficas* 74: 19-34.
- Toth, J., 2000. Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. *Boletín Geológico y Minero* 111(4):9-26.



IV CONGRESO
NACIONAL

MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Mesa 3. Ambientes ribereños y humedales, conexiones entre zonas altas y bajas de cuencas.



Extenso ID: 119. Robles Guadarrama Carlos Augusto, Pacheco Mamone Alejandra, Velasco Vázquez María de Lourdes, Ernesto Pereda Rivera, José Rodolfo Olmos Zepeda, Asael Angel Santiago. RESULTADOS PRELIMINARES DEL DIAGNÓSTICO RIPARIO EN SIETE EJIDOS DE LA CUENCA DEL RÍO HUAZUNTlán

[Regresar al índice](#)

Desarrollo Comunitario de los Tuxtlas A.C carrobles59@yahoo.com.mx

Desarrollo Comunitario de los Tuxtlas A.C.Amne011@gmail.com

Laboratorio de Investigación y Asesoría Estadístico. Universidad Veracruzana
lulu760211@gmail.com

Laboratorio de Investigación y Asesoría Estadístico. Universidad Veracruzana
pegasus_erny@hotmail.com

Laboratorio de Investigación y Asesoría Estadístico. Universidad Veracruzana

Laboratorio de Investigación y Asesoría Estadístico. Universidad Veracruzana

Resumen

Como primer paso para la realización de acciones de mejoramiento ambiental en la cuenca del río Huazuntlán (Sierra de Santa Marta, Ver.), se realizó un diagnóstico participativo en siete. El uso del suelo en estos ejidos es muy intenso y básicamente dedicado a la ganadería. Para realizar el diagnóstico se utilizó el índice Riparian Forest Evaluation (Magdaleno F. et al 2010) que evalúa calidad de bosque de ribera y parámetros básicos de calidad del agua. En referencia a las características de continuidad en la cobertura vegetal, después de un análisis estadístico descriptivo, de análisis de correlaciones entre distintas variables, y análisis multivariante CP, se observa que: para la continuidad longitudinal del bosque ripario la mayoría de los sitios se hallan en mal estado (75% malo, 17% deficiente, 6% regular) y solo 2% en buenas condiciones. Para la variable de continuidad transversal continúa misma tendencia, el 85% se halla en condición mala, 10% deficiente, 4% regular y solo 1% bueno. En la variable complejidad, el 86% del bosque ripario se halla en mala condición, 9% deficiente, 4% regular y sólo 1% bueno. En regeneración, el 77% del bosque ripario se encuentra en estado malo, 14% deficiente, 8% regular y solo 1% en buen estado. Y referente a la posible conectividad del área de estudio con los fragmentos de vegetación adyacente, la condición de colindancias se encuentra en un 89% en estado malo, 9% deficiente, 2% regular. El análisis multivariante realizado para establecer comparaciones entre los ejidos en estas variables, presenta matices de cierta heterogeneidad en la contribución de cada ejido a este panorama, destacándose la correlación entre temperatura del aire y del agua. Los componentes principales reflejaron que son Tonalapan, Ixhuapan y El Naranjo, los ejidos con mayor daño en su estructura de vegetación (más de 80% de la muestra), mientras que los ejidos con mayor erosión son Cerro de la Palma, Mecayapan e Ixhuapan (59%, 36% y 28% de la muestra respectivamente). Se usaron pruebas no paramétricas con la finalidad de determinar diferencias significativas entre los componentes principales vegetación y erosión.

1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente documento es el de presentar resultados preliminares del diagnóstico de evaluación riparia realizado en el año 2015 en siete ejidos ubicados en la cuenca del Río Huazuntlán, al sur del estado de Veracruz, México. El diagnóstico tuvo el propósito de hacer una sistematización de las condiciones de los ecosistemas riparios en donde el subproyecto *Incorporación de nuevas*



extensiones al Programa de Restauración y Conservación de las cuencas de la sierra de Santa Marta realizaría sus acciones en el marco del proyecto *Conservación de cuencas costeras en el contexto de cambio climático*. Una combinación de políticas públicas con un uso del suelo que se intensificó conforme avanzó el siglo XX, ha generado una deforestación masiva en la cuenca del río Huazuntlán, la más poblada, atrayendo una serie de conflictos y problemas que rebasan el ámbito de su territorio e impactan en la vida de las ciudades portuarias, industriales y comerciales de Acayucan, Cosoleacaque, Minatitlán y Coatzacoalcos, ya que el agua de consumo humano de esos centros de población proviene mayoritariamente de esta cuenca. Se documentan los avances en la sistematización de los recorridos de campo. Se presentan generalidades sobre: a) canales riparios y vegetación ribereña; b) Enfoques metodológicos sobre evaluación de canales riparios, y método; c) resultados de estadística descriptiva con el objetivo de observar emergentes generales; d) Resultados de estadística multivariante, con el objetivo de tener una panorámica y elementos inferenciales.

2.- Materiales y métodos. LA CUENCA DEL RÍO HUAZUNTÁN

La cuenca del río Huazuntlán se ubica en la sierra de Santa Marta. Ésta está constituida por dos volcanes (volcán de Santa Marta y volcán de San Martín Pajapan) con características morfológicas que han permitido una gran diversidad biológica. En un contexto de políticas públicas que estimularon la reubicación de población local y promovieron la inmigración y la ganaderización, entre 1958 y 1991 se perdieron en la sierra de Santa Marta 65,780 hectáreas de bosques y selvas equivalentes al 63% de la superficie forestal existente en 1958 (Ramírez: 2011: 11). No se tienen datos sobre la pérdida de vegetación en la sierra para años posteriores. Pero en la reserva de la biosfera “Los Tuxtlas”, entre 1980 y 2011, se perdieron 30,074 hectáreas (a una tasa anual promedio de deforestación de 1.15%), lo que significa el 19.41% del total de la extensión decretada como reserva en 1998. La pérdida forestal de la reserva de la biosfera entre 2007 y 2011 fue de 928 hectáreas, lo que implica una deforestación de 292 hectáreas promedio por año, es decir 0.32% (Ibid: 11). De acuerdo con Ramírez, en 2011 el paisaje predominante en la Reserva de la Biosfera “Los Tuxtlas” era el de las actividades humanas No Forestales (53% del Área Natural Protegida) con un uso mayoritario de pastos ganaderos (51% del total de la reserva) (Ramírez: 2011; 40).

Conceptos generales.

Tarbuk (2005) dice que las cuencas son el resultado del trabajo de modelado que hace el agua corriente, y cada corriente es parte de un sistema mayor conocido como cuenca de drenaje que es “...el área de tierra que aporta agua a la corriente, y se separa de otra por una línea divisoria...” (Tarbuk 2005). Esta división “...oscila entre un montículo de tierra que separa dos arroyos, hasta divisorias continentales...” (Ibid). Cuando los escurrimientos que forman varias líneas divisorias se unen en diversos puntos para formar cuerpos más grandes que terminarán desembocando en el cuerpo de agua que se encuentra en su nivel de base absoluto (donde el agua no puede erosionar más), entonces forman una cuenca y cada escurrimiento es una subcuenca o microcuenca. Una parte del agua captada por la cuenca en forma de lluvia, fluye superficialmente en diferentes formas de escorrentía y otra se infiltra en el suelo. La capacidad de infiltración depende de: la intensidad y duración de la precipitación, la humedad de los suelos, sus texturas, la pendiente del terreno, y el tipo y cantidad de cubierta vegetal. Agregaríamos que el ciclo de los cuerpos de agua en general no depende sólo de las fases naturales del mismo, sino de la acción humana dadas las formas y escalas de intervención y apropiación de los ecosistemas. En el caso de las cuencas de la sierra de Santa Marta, nos encontramos frente a cuencas efluentes (demanda la recarga de los mantos freáticos para mantener en niveles constantes los balances hídricos con el agua superficial). Debido a la conformación orográfica la forma de la cuenca es radial y se trata de una cuenca exorreica que desemboca en la laguna del Ostión en la costa del Golfo de México, después de sumar las aguas de las cuencas del río Huazuntlán y los arroyos Tatahuicapan, Apechinapa y Mezcalapa.

3.- RESULTADOS GENERALES



El estado ecológico del ecosistema es una medida de salud global que determina calidad y funcionamiento del ecosistema acuático asociadas a aguas superficiales y vegetación ribereña. Es más amplio y se diferencia de otros enfoques centrados exclusivamente en los términos de calidad del agua que básicamente expresan mayor o menos potencial del agua para diversos usos (Mendoza Cariño 2014). En este sentido exponemos los criterios aplicados en este diagnóstico. Consideramos que un área riparia es la zona adyacente, directamente influenciada por un cuerpo de agua. (Riparios: “perteneciente al banco de un río”) esto involucra diversas comunidades bióticas que viven a ambos lados de los ríos (Allan y Castillo 2007). Los elementos básicos que definen un bosque ripario son: ecosistema inmediato a ambos lados de quebradas y ríos, se incluye aquí bancos aluviales y humedales, así como zonas o terrazas de inundación, que interactúan con el río durante los episodios de crecidas e inundaciones; la vegetación ribereña depende de un suministro de agua en el suelo, y ésta tendrá como fuentes un río adyacente; ecosistemas cercanos a drenajes que desembocan en quebradas ríos o humedales. Estos ecosistemas debido a su condición de zona transicional, efectúan funciones de filtro al evitar la erosión extrema de las riberas, amortiguan la acción de contaminantes, y mantienen una fina regulación de parámetros de luz, temperatura y humedad.

Enfoque metodológico para la evaluación de canales riparios, y método RFV

El índice que hemos aplicado RFV (Magdaleno F. *et al*: 2010), incorpora los avances de diversos índices. Su instrumentación es relativamente fácil y permite obtener una planilla con puntajes que puede ser empleada para estudios de diferencias y/o semejanzas por sitios de estudio, compararlos con sitios de referencia o incluirlos como parte de diferentes escalas de aplicación de proyectos de rehabilitación-restauración de las condiciones de un río (Magdaleno *et al* 2010). Para la valoración del estado de la ribera considera: el cálculo de indicadores incorporando una base geomorfológica relacionada con la estructura y funcionamiento del cauce; una visión integral del estado ecológico del bosque de ribera y; una ponderación relacionada con el mal estado de algunos indicadores. La valoración la continuidad longitudinal del bosque, la continuidad transversal, su complejidad, estado de regeneración, índice de colindancias, índice de condición erosiva, permeabilidad del suelo, pendiente, erosión; índice de calidad del agua (T, alcalinidad, dureza, % saturación de oxígeno).

Resultados principales.

Emergentes principales de estadística descriptiva global.

Se consideraron siete comunidades en la zona de la cuenca del Río Huazuntlán, los registros se realizaron desde el mes de marzo hasta junio de 2015. El esfuerzo de muestreo se realizó considerando la aceptación de los habitantes para aplicar el protocolo en sus parcelas, y la extensión e hidrología de cada ejido. Se trató en la medida de lo posible, que la distancia entre los sitios de muestreo no rebasara los 10 km en cada ejido. Para el análisis estadístico se trabajó con una base de datos con variables referidas a: características de vegetación (índice de continuidad longitudinal, índice de continuidad transversal, complejidad del bosque ripario, regeneración del bosque ripario e índice de colindancias), características del suelo (permeabilidad, pendiente, erosión) y características físico-químicas (temperatura aire, temperatura agua, alcalinidad total, PH, dureza, % de saturación oxígeno).

Se realizó un análisis descriptivo univariante de las diferentes variables de vegetación, erosión y físico químicas con el objeto de describir las frecuencias por sitio ripario y de manera general. También se presentan las matrices de correlaciones entre las variables vegetación, erosión y físico-químicas, utilizando el coeficiente de Spearman. Estos análisis se realizaron con el apoyo de los softwares STATISTICA 7.0 y SigmaPlot for Windows 10.0

Análisis descriptivo global

Características de vegetación ribereña y conectividad

Se observa para la continuidad longitudinal del bosque ripario (fig.1.), la mayoría de los sitios se hallan en mal estado (74% malo, 17% deficiente, 6% regular) y solo 2% en buenas condiciones. Para la

variable continuidad transversal (fig.2), continúa misma tendencia el 85% se halla en condición mala, 10% deficiente, 4% regular, y solo 1% bueno. En la variable complejidad del bosque ripario (fig.3): 86% se halla en mala condición, 9% deficiente, 4% regular, y sólo 1% bueno. En regeneración de bosque ripario (fig.4): 77% en estado malo, 17% deficiente, 8% regular, y solo 1% en buen estado. Y referente a la posible conectividad del área de estudio con los fragmentos de vegetación adyacente, la condición de colindancias (fig.5): 89% en estado malo, 9% deficiente, 1% regular.

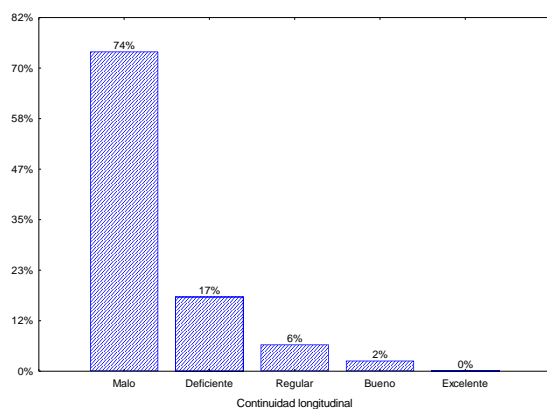


Figura 1. Continuidad longitudinal bosque

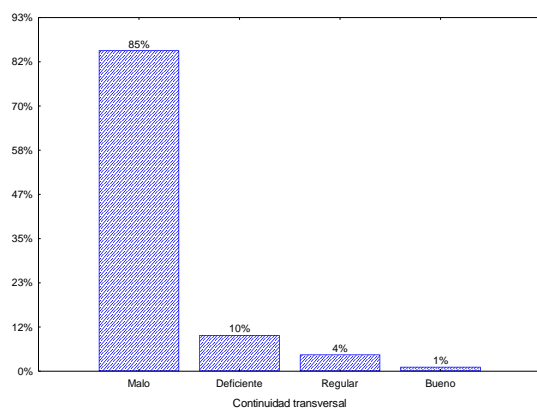


Figura 2. Continuidad transversal bosque

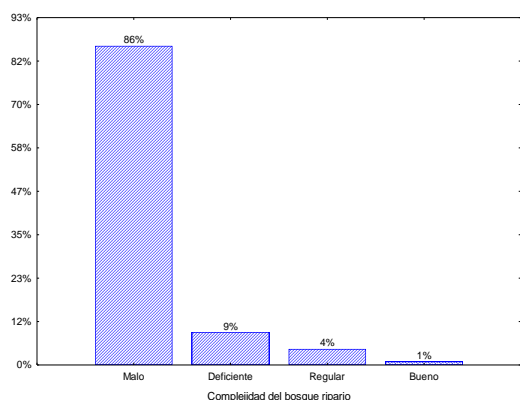


Figura 3. Complejidad del bosque.

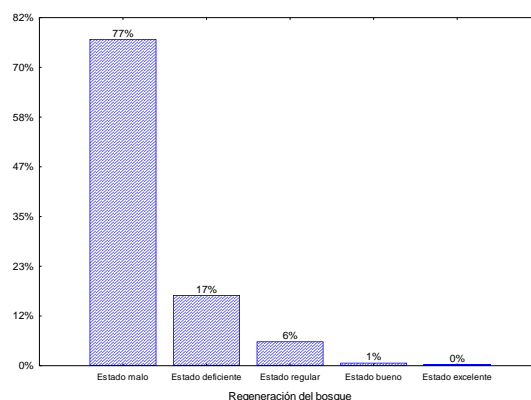


Figura 4. Regeneración del bosque.

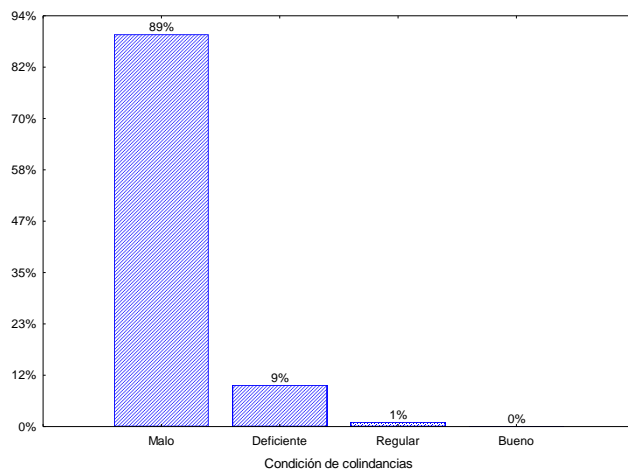


Figura 5. Condición de colindancias.

La tendencia general de todos los sitios analizados muestra un predominio de mal estado y una reducción en la cobertura en todos los cuadrantes. Por otra parte, la recuperación se halla en situación de alto riesgo según los valores de colindancia.

Características de fisiografía y grado de erosión

La permeabilidad del suelo en la mayoría de los sitios (74%) mostró grado moderado, 16% rápida, 10% lenta. En tanto que la pendiente presentó una mayoría de los sitios (73%) con pendiente máxima, 16% inclinada, 8% muy inclinada, 2% escarpada. La erosión tuvo para la mayoría de los sitios (96%) condición regular o moderada, 2% estado deficiente, 2% estado malo. En el caso de estudio si bien la condición de permeabilidad moderada es la adecuada para circulación de agua y aire; la deficiente condición de cobertura, complejidad y conectividad a la que se suma las pendientes inclinadas en algunos de los sitios, todo ello contribuye a una calificación en estado que puede ir aumento pasando de la condición erosiva regular o moderada a una condición severa. (

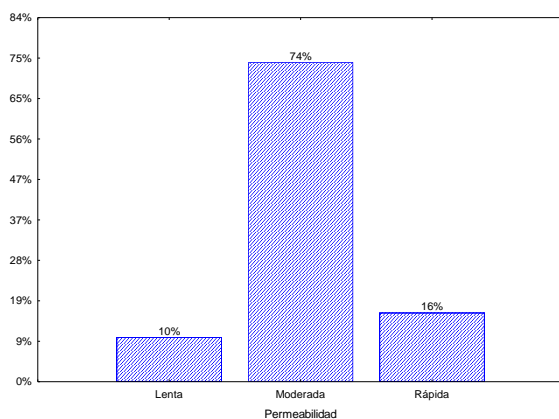


Fig.6 Condición de permeabilidad del suelo

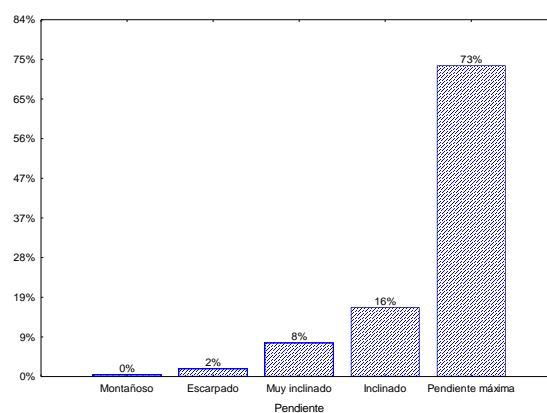


Fig. Pendiente.

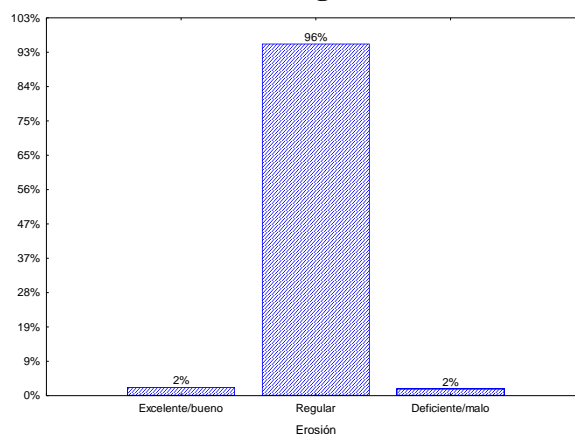


Fig. 7.- Condición de erosión.

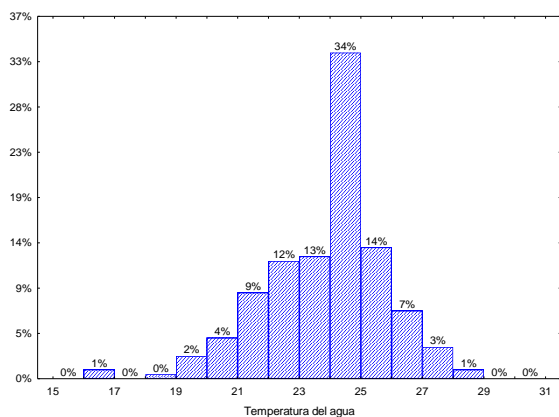


Fig. 8.- Temperatura del agua.

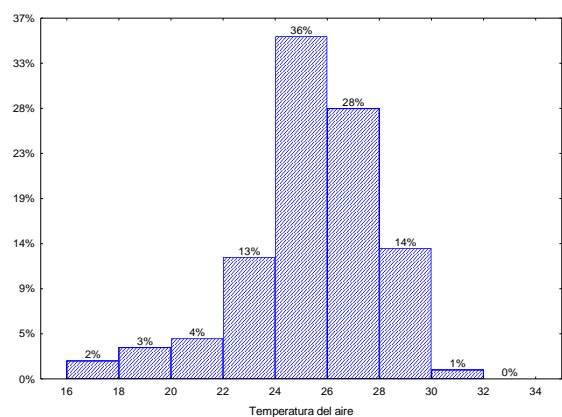


Fig. 9.- Temperatura del aire

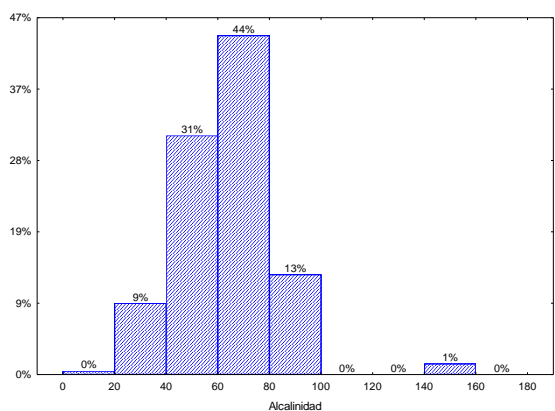


Fig. 10.- Alcalinidad

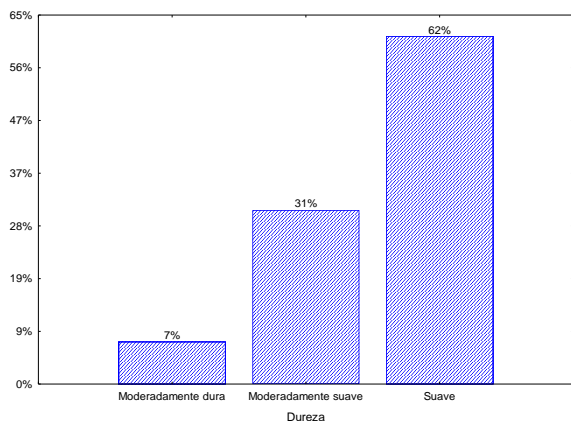


Fig. 12.-Dureza

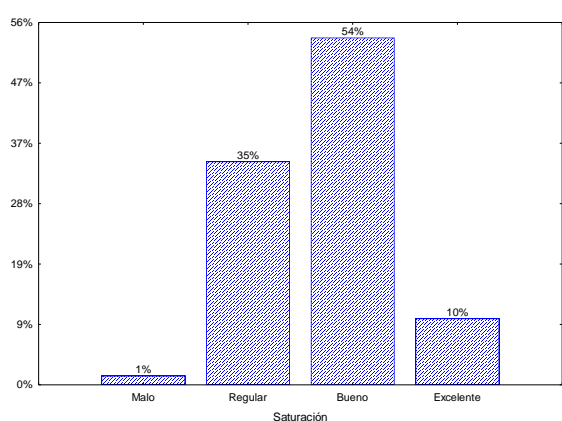


Fig. 13.- Porcentaje de saturación O₂

Características fisicoquímicas del agua y temperatura del aire.

La temperatura del agua presentó una amplia variación con valores mínimos de 17° a máximo de 29°, y una media de 24.39°. En tanto que la temperatura del aire tuvo valores mínimos de 18°, máximo de 31°, y media de 25.80°. En cuanto a la alcalinidad total, la variación fue muy amplia desde valores mínimo de 15 a máximo de 150, con media de 66.70. La dureza presentó un **62%** de los sitios en la categoría **suave**, 31% moderadamente suave, 7% moderadamente dura. Porcentaje de saturación de



oxígeno: 54% en buen estado, 35% regular, 10% excelente, 1% malo. PH: La mayoría de los sitios se hallan en la condición 5. (79%) seguidos de la condición 3 (17%) y solo 3% en la condición 1.

Cuadro 1.- Temperatura y alcalinidad del agua

Sitios riparios	Temperatura del agua				
	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
a. Temperatura del agua	24.39	25	1.99	17	29
b. Temperatura del aire	25.80	26	2.55	18	31
c. Alcalinidad total	66.70	70	19.96	15	150

La temperatura determinará niveles de oxígeno disuelto. Los incrementos de temperatura del aire pueden asociarse con el predominio de zonas descubiertas de cobertura en general y de pérdida de estratos en la mayoría de los sitios. La alcalinidad total determina las condiciones del río para neutralizar ácidos. Los rangos de oxígeno disuelto determinan la amplitud de especies que pueden ocupar los diversos nichos en el río, siendo también un indicador de la carga orgánica al sistema. El amplio rango de alcalinidad y dureza muestra que los sitios varían de aguas que pueden considerarse desde aguas suaves o moderadamente suaves, hasta aguas duras. Los rangos de oxígeno muestran que una mayoría relativa de los sitios se hallan en condiciones todavía apropiadas para la vida acuática (64%).

Cuadro 2.-Visión comparada de los sitios considerando los parámetros fisicoquímicos del agua

Sitios riparios	Temperatura del agua				
	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
a. Mecayapan	24.18	25.00	1.84	20	29
b. Tonalapa	24.28	24.50	1.07	22	26
c. Ixhuapan	24.32	24.00	2.01	20	27
d. Hipolito	21.57	22.00	3.36	17	25
e. Cerro de la palma	23.76	25.00	1.99	21	28
f. El naranjo	24.67	25.00	2.53	19	28
g. Minzapan	25.25	25.00	1.59	22	29

Cuadro 3: temperatura del aire por ejido

Sitios riparios	Temperatura del aire				
	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
a. Mecayapan	25.55	26.00	2.68	19	31
b. Tonalapa	25.39	25.50	0.85	24	27
c. Ixhuapan	25.68	26.00	2.84	20	31
d. Hipolito	21.43	21.00	2.88	18	25
e. Cerro de la palma	25.34	25.00	0.81	23	27
f. El naranjo	25.08	25.50	1.78	21	27
g. Minzapan	27.15	28.00	2.49	18	30

Cuadro 4.- Alcalinidad total por comunidad

Sitios riparios	Alcalinidad total				
	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
a. Mecayapan	58.44	50	25.76	15	150
b. Tonalapa	67.50	75	25.51	30	100
c. Ixhuapan	71.60	80	16.05	40	90
d. Hipolito	70.00	70	17.08	50	100
e. Cerro de la palma	70.79	75	13.79	40	100
f. El naranjo	71.25	75	15.69	30	85
g. Minzapan	70.00	75	12.87	50	90

En resumen, se presenta una mayoría de sitios con mala calificación, respecto al estado de su vegetación riparia, con condiciones de erosión moderada, y permeabilidad con predominio de calificación moderada. Los parámetros fisicoquímicos presentan amplia variación entre sitios siendo necesario considerar con especial atención aquellos con valores límites de temperatura alta, sitios con bajo porcentaje de oxígeno, así como los de baja alcalinidad. También en algunos casos se notaron sitios con elevada dureza (31%) lo que también debe ser atendido, en relación a la posible incidencia de trastornos renales vinculados al consumo humano.

Emergentes de estadística inferencial con métodos multivariantes.

El objetivo de esta sección se enfoca a presentar los resultados con técnicas multivariantes que permiten una visión en panorámica de las diferentes variables que integraron el método diagnóstico, proponiendo un primer acercamiento inferencial sobre el peso y la capacidad explicativa de cada componente. Así también es posible ver en forma comparada, con mayor detalle las diferencias y semejanzas por ejido.

Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico se trabajó con una base de datos en donde las variables están referidas en tres atributos, el primero relacionado con las características de vegetación (índice de continuidad longitudinal, índice de continuidad transversal, complejidad del bosque ripario, regeneración del bosque ripario e índice de colindancias), características del suelo (permeabilidad, pendiente, erosión) y características físico-químicas (temperatura aire, temperatura agua, alcalinidad total, dureza, % de saturación, monitoreo biológico). Se realizó un análisis descriptivo univariante de las diferentes variables de vegetación, erosión y físico químicas con el objeto de describir las frecuencias por sitio ripario. También se realizaron las matrices de correlaciones entre las variables vegetación, erosión y físico-químicas, utilizando el coeficiente de Spearman. En una segunda fase del análisis, se realizó el análisis de componentes principales para reducir la dimensión del conjunto de datos generando un reducido número de factores (componentes) que son combinaciones lineales de las variables originales.

Resultados

Análisis de asociación entre las características de vegetación

Los pares de variables que presentan correlaciones superiores a 0.50 son las siguientes: Continuidad transversal y longitudinal 0.750, continuidad transversal y complejidad de bosque ripario 0.655, regeneración y complejidad de bosque ripario 0.664, continuidad longitudinal y complejidad de bosque ripario 0.588, continuidad longitudinal y regeneración del bosque ripario 0.558, finalmente regeneración del bosque ripario y continuidad transversal 0.543. Todas las correlaciones son positivas.

Cuadro 5.- Coeficientes de asociación entre las características de vegetación.

Variables	Continuidad longitudinal	Continuidad transversal	Complejidad de bosque ripario	Regeneración del bosque ripario	Índice de condición de colindancias
Continuidad longitudinal	1.000				
Continuidad transversal	0.750	1.000			
Complejidad de bosque ripario	0.588	0.655	1.000		
Regeneración del bosque ripario	0.558	0.543	0.664	1.000	
Índice de condición de colindancias	0.445	0.366	0.472	0.420	1.000

Los coeficientes de correlación obtenidos entre las variables erosión son muy bajas (Cuadro 6).

Cuadro 6.- Análisis de asociación entre las características de erosión.

Variables	Continuidad longitudinal	Continuidad transversal	Complejidad de bosque ripario
Permeabilidad	1.000		
Pendiente	-0.0845	1.000	
Erosión	-0.1720	-0.1876	1.000

La correlación más alta se presenta entre temperatura del aire y temperatura de agua con un valor de 0.6725 (Cuadro 7).

Cuadro 7.- Análisis de asociación entre las características físico-químicas.

Variables	Temperatura	Temperatura	Alcalinidad	Dureza	% de
-----------	-------------	-------------	-------------	--------	------

	del agua	del aire	total		saturación.
Temperatura del agua	1.000				
Temperatura del aire	0.6725	1.000			
Alcalinidad total	0.2449	0.0858	1.000		
Dureza	-0.2104	-0.0700	-0.3257	1.000	
% saturación 02.	-0.2421-	-0.2138	0.0335	0.0360	1.000

Análisis de componentes principales.

Atributos de vegetación. El análisis muestra dos componentes que explican el 78.17% de la variación. Los componentes resultantes en este estudio representan el resultado de una combinación lineal de las variables en donde cada una tiene una ponderación diferente. La elección del número de componentes principales dependió de la estructura de la correlación de los datos. En nuestro caso, debido a que se presentan correlaciones altas se opta por la elección de dos componentes principales.

El primer componente es aquel que posee la mayor varianza y en consecuencia la mayor capacidad explicatoria de los datos, la cual es de 64.25% del total. La primera componente está relacionada con las variables que muestran las correlaciones más altas: continuidad transversal y longitudinal, complejidad del bosque ripario y regeneración del bosque ripario, en sentido positivo. Con relación al segundo componente, este explica un 13.92% de la variabilidad total, relacionado con la variable condición de colindancia, también con una correlación positiva. Las cargas (factor loadings) de las variables sobre cada uno de los componentes muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8.- Cargas de las variables vegetación sobre las 2 primeras componentes.

Variables	CP 1	CP 2
Continuidad longitudinal	0.845	-0.200
Continuidad transversal	0.844	-0.334
Complejidad del bosque ripario	0.854	-0.021
Regeneración del bosque ripario	0.801	-0.008
Condición de colindancias	0.644	0.738

Atributos de erosión. Debido a las bajas correlaciones entre las variables del apartado de erosión, se obtiene un porcentaje de explicación muy bajo con la primera componente principal, sin embargo, se opta por la elección de una componente, la cual explica el 41.44%. Las cargas del componente principal indican que se encuentran correlacionando con signo positivo las variables permeabilidad (0.501) y pendiente (0.569), en sentido negativo la variable erosión (-0.817)

Atributos físico químicos. Con las primeras tres componentes principales se explica el 71.06% de la variabilidad. El primer componente explica el 32.77% de la variabilidad total, el segundo componente un 23.59% y el tercer componente un 14.65%.. Las cargas (factor loadings) de las variables sobre cada uno de los componentes se muestra en el cuadro 9. El primer componente principal se encuentra correlacionado con signos positivos las variables temperatura del agua y temperatura del aire. En la segunda componente principal las variables alcalinidad total, ph muestran una correlación positiva, y dureza se asocia con signo negativo. El tercer componente principal está representada la variable saturación con signo positivo.

Cuadro 9.-Cargas de las variables físico químicas sobre las 3 primeras componentes.

Variables	CP 1	CP 2	CP 3
-----------	------	------	------

Temperatura del agua	0.867	-0.224	0.216
Temperatura del aire	0.801	-0.321	0.322
Alcalinidad total	0.453	0.645	-0.109
Dureza	-0.454	-0.464	0.17
% Saturación O ₂	-0.388	0.337	0.829

Perfil de conservación en los sitios riparios.

En base a los valores score de la CP1 vegetación se analiza la evaluación del daño que presentan los distintos sitios riparios. Los puntajes por debajo de la línea punteada representan evaluaciones negativas, indicando que se encuentran en mal estado. Por el contrario, los puntajes por arriba del promedio indican que las muestras presentan menor daño en la estructura de vegetación. Los sitios que mayor daño presentan en su estructura de vegetación son: Tonalapa, Ixhuapan, El naranjo y Minzapan; más del 75% (tercer cuartil) de las muestras dentro de cada sitio están por debajo del promedio; consideradas en mal estado (Cuadro 10).

Cuadro 10.- Valores score correspondiente a la primera componente principal (vegetación) por sitio ripario. La línea central representa el promedio

1. Mecayapan. 2. Tonalapa, 3. Ixhuapan, 4. Hipolito, 5. Cerro de la palma, 6. El naranjo, 7. Minzapan.

Los sitios que presentan mayor daño en su estructura de vegetación son: Tonalapan con 86%, Ixhuapan 84%, El naranjo 85% y finalmente Minzapan 78% (Tabla 6).

Cuadro 11. Porcentaje de muestras en mal estado del CP1 vegetación por sitio ripario.

Sitio	Debajo del promedio	Superior al promedio
1. Mecayapan	64%	36%
2. Tonalapa	86%	14%
3. Ixhuapan	84%	16%
4. Hipolito	61%	39%
5. Cerro de la palma	72%	28%
6. El naranjo	85%	15%
7. Minzapan	78%	22%

En base a los valores score de la CP1 erosión se analiza la evaluación del daño que presentan los distintos sitios riparios. El sitio ripario con mayor daño en el suelo es Cerro de la Palma, sin embargo, El naranjo y Minzapan son los que se encuentran en mejor estado (Figura 2).

Cuadro 12. Valores score correspondiente a la primera componente principal erosión por sitio ripario. La línea central representa el promedio.

1. Mecayapan. 2. Tonalapa, 3. Ixhuapan, 4. Hipolito, 5. Cerro de la palma, 6. El naranjo, 7. Minzapan.

Los sitios con mayor porcentaje de daño en la CP 1 erosión son: Cerro de Palma 59%, Mecayapan 36% e Ixhuapan, Hipólito con 28% .

Cuadro 13.- Porcentaje de muestras en mal estado del CP1 erosión por sitio ripario.

Sitio	Debajo del promedio	Superior al promedio
1. Mecayapan	36%	40%
2. Tonalapa	17%	83%
3. Ixhuapan	28%	72%
4. Hipolito	28%	72%
5. Cerro de la Palma	59%	41%
6. El naranjo	17%	83%
7. Minzapan	8%	92%

Los sitios riparios que presentan mayor heterogeneidad en los valores score de la CP 1 físico químicas son: Mecayapan, Ixhuapan e Hipolito. Es interesante resaltar que el sitio ripario Hipolito todas las muestras están por debajo del promedio, esto indica que se encuentran en mal estado, seguido de los municipios Mecayapan, Tonalapa y El naranjo donde más del 50% de las muestras (segundo cuartil) están por debajo del promedio. Por el contrario, el sitio Minzapan es el que se encuentra en mejor estado (arriba del promedio) (Figura 3).

Cuadro 14.- Valores score correspondiente a la primera componente principal físico químicas por sitio ripario. La línea central representa el promedio.

1. Mecayapan. 2. Tonalapa, 3. Ixhuapan, 4. Hipolito, 5. Cerro de la palma, 6. El naranjo, 7. Minzapan.

El sitio con mayor porcentaje de daño en la CP 1 físico químicas es Cerro de Palma 100%, seguido por Tonalapa 76%, Mecayapan 64% y El naranjo con 58 %, por otro lado se destaca Minzapan, donde el 83% de las muestras se encuentran por arriba del promedio (Tabla 8).

Cuadro 15. Porcentaje de muestras en mal estado del CP1 físico químicas por sitio ripario.

Sitio	Debajo del promedio	Superior al promedio
1. Mecayapan	64%	36%
2. Tonalapa	67%	33%
3. Ixhuapan	40%	60%
4. Hipolito	100%	0.0
5. Cerro de la palma	48%	52%
6. El naranjo	58%	42%
7. Minzapan	17%	83%

Se han encontrado diferencias significativas en el CP1 vegetación entre sitios ($\chi^2_6 = 39.67, p < 0.001$). Los sitios donde se presentan las diferencias son los siguientes: Mecayapan vs Tonalapa ($p = 0.007$), Mecayapan vs Ixhuapan ($p < 0.001$), Mecayapan vs El Naranjo ($p = 0.012$) y Mecayapan vs Minzapan ($p = 0.034$). Con respecto al CP1 erosión resulto diferencias significativas entre sitios ($\chi^2_6 = 17.32, p = 0.0082$), encontrando diferencias entre los sitios Cerro de la Palma vs Minzapan ($p = 0.0053$). Finalmente, el CP1 físico químicas fue significativamente diferente ($\chi^2_6 = 39.21, p < 0.0012$). Los sitios donde se presentan las diferencias son los siguientes: Mecayapan vs Minzapan ($p = 0.001$), Tonalapa vs Minzapan ($p = 0.008$), Hipólito vs Minzapan ($p = 0.0014$), Cerro de la Palma vs Minzapan ($p = 0.0026$).

Cuadro 16. Valores promedios (+-DE) de la CP1 vegetación, CP1 erosión, CP1 físico química. Diferencias entre sitios riparios a través de comparaciones múltiples suma de rangos de Wilcoxon. Letras diferentes indican diferencias entre los sitios **<0.001.

Sitios riparios	Componente principal		
	Vegetación	Erosión	Físico química
a. Mecayapan	0.19 ± 1.03^a	-0.26 ± 1.28	-0.23 ± 0.94^a
b. Tonalapa	-0.31 ± 0.42^{ab}	0.07 ± 0.26	-0.19 ± 0.51^b
c. Ixhuapan	-0.20 ± 0.77^{ac}	-0.05 ± 0.42	0.04 ± 1.42
d. Hipólito	0.38 ± 1.18	0.18 ± 0.65	-1.16 ± 1.28^d
e. Cerro de la palma	0.07 ± 1.22	-0.33 ± 0.58^e	-0.21 ± 0.84^e
f. El naranjo	-0.19 ± 0.83^{af}	0.58 ± 1.21	-0.03 ± 0.90
g. Minzapan	-0.07 ± 1.02^{ag}	0.31 ± 1.01^{ef}	0.54 ± 0.76^{abde}

4- Conclusión

Considerando en forma comparativa todos los sitios por ejido:

En lo que refiere a **vegetación** los sitios peor calificados se hallan en: Tonalapa, Ixhuapan, El Naranjo y Minzapan. En lo que refiere a **fisiografía y suelos**, los sitios peor calificados son en orden sucesivo: Cerro de Palma, Mecayapan, Ixhuapan, Hipólito. En lo referido a peor calificación en **variables físicoquímicas**: Cerro de Palma 100%, seguido por Tonalapa, Mecayapan y el naranjo con 58 %. Para este grupo de variables se destaca Minzapan, donde el 83% de las muestras se encuentran por arriba del promedio. En resumen en cuanto al estado de los sitios por ejido, considerando todas las calificaciones de todos los atributos, se destacan como en peor condición los sitios de **Ixhuapan, Tonalapa, Mecayapan**.

Referencias

- 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. Tesis de Maestría Programa CATIE.
- Cotler Helena y Georgina Caire (2009) *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Fundación Gonzalo Río Arronte, WWF-Organización Mundial de la Conservación. México
- Elozegi, A; Sabater S. (2009) *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Ed Fundación BBVA
- Guevara, Laborde y Ríos, 2006. *Los Tuxtlas, el paisaje de la sierra*. Instituto de Ecología AC. México
- Gordon, N. D., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2004). *Stream hydrology: an introduction for ecologists*. Ed. John Wiley and Sons.
- Katu Pereira (2012) *Padroes estruturais e funcionais das paisagens ripárias dos rios pitanguis e jotuba no primeiro plan alto paranaense*. Tesis de Maestria. Universidade estadual de Ponta Grossa, Brazil.
- Kutschker, A.; Brand C.; Miserendino, M.L.(2009). "Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra". *Asociación Argentina de Ecología. Ecología Austral* 19:19-34



- Magdaleno, M.; Martínez R.; Roch.V . (2010) "Índice RFV para la valoración del estado del bosque de Ribera". *Ingeniería Civil*, N°57, pp85-96.
- Mendoza Cariño (2014) *Vegetación ribereña indicador de la salud del río de la Barranca de Mezquitlán*. Tesis para optar al grado de Doctor. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Mexico.
- Munné, A.; Prat, N; Solá, C; Bonada, M.; Rierdevall, M.(2003). "A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. Aquatic Conservation": *Marine and Freshwater Ecosystems*,13: 147-163.
- Naiman,R.J; Decamps, H.;y Mac Clain, M.E. (2005) *Riparia: Ecology, conservation and management of streamside*. Ed. Academic Press, San Diego, California
- Naiman, R.J; Decamps, H.(1993) "The role of riparian corridors in maintaining biodiversity". *Ecological applications* 2:209-212
- Palma, A., R. Figueroa, P.; Ruiz, V.H.(2009) "Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF". *Gayana* 73(1): 57-63.
- Poole, G.C. (2002) "Fluvial landscape ecology: adressing within the river discontinuum". *Freshwater biology* 47, pp. 641-660.
- Ramírez Ramírez. Fernando (2011) *Actualización de la tasa de cambio del uso del suelo en la reserva de la biosfera Los Tuxtlas*" Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas Dirección Regional Planicie Costera y Golfo de México - Proyecto Sierra de Santa Marta, A. C. México 2011
- Rodríguez Téllez, ER; Domínguez-Calleros, A.;Pompa-García,M.; Quiroz Arratia, J.A.; Pérez López (2012) "Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR"en *Gayana Bot.* 69(1): 147-151, 2012 ISSN 0016
- Tarbuck, E. J.; Lutgens, F. K., y Tasa, D. (2005). *CIENCIAS DE LA TIERRA*. Pearson Educación S. A., Madrid, ISBN edición española: 84-205-4400-0. ISBN edición latinoamericana: 978-84-832-2690-2
- Velázquez Hernández, Emilia. 2006. *Territorios fragmentados. Estado y comunidad indígena en el Istmo veracruzano*. Publicaciones de la Casa Chata. CIESAS. México
- Xia, J.; Lin, L: Lin,J; Nehal, L (2014) "Development of a GIS-Based Decision Support System for Diagnosis of River System Health and Restoration" *Water* **2014**, 6, pp. 3136-3151; doi:10.3390/w6103136



Extenso ID: 93. Luis Bravo-Inclán ^a, José Javier Sánchez-Chávez ^a, Ana Cecilia Tomasini-Ortiz ^a, Rebeca González-Villela ^a y Marco Mijangos-Carro ^a. REHABILITACIÓN LACUSTRE: CONEXIÓN ENTRE LA CUENCA Y EL LAGO DE PÁTZCUARO, MICHOACÁN

[Regresar al índice](#)

^a Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Mor., C.P. 62550. México, email: lubravo@tlaloc.imta.mx , jjsanche@tlaloc.imta.mx , atomasini@tlaloc.imta.mx , rebeca_gonzalez@tlaloc.imta.mx , mijangos@tlaloc.imta.mx

RESUMEN

Desde la década de los setentas – ochentas, el lago de Pátzcuaro –un lugar emblemático– ha sufrido un gradual deterioro de su calidad del agua, en parte por la sobreexplotación de sus recursos naturales tanto en su cuenca como en el cuerpo de agua, desarrollo demográfico y por la pérdida del nivel de agua. De 2006 a 2011, se realizó un monitoreo limnológico y de las descargas que incluyó un total de 35 campañas, e incluyó cerca de 30 parámetros de calidad del agua. En el lago, se incluyó un total de seis estaciones. Se monitorearon y evaluaron por el Métodos Estándar (APHA, 1998) cinco parámetros de campo y cerca de 30 parámetros fisicoquímicos. A nivel cuenca, se aplicó un modelo llamado *ArcView-Generalized Watershed Loading Function* (AVGWLF), que identifica las microcuencas que aportan la mayor contaminación puntual y difusa. Se planteó obtener una evaluación integral del lago y su cuenca con miras a generar una propuesta de rehabilitación del cuerpo de agua y manejo de cuenca. Resultados.- El lago se clasifica como cálido tropical polimíctico, con mezcla frecuente por la acción del viento. Los valores promedio de fósforo total (0.165 mg/L), nitrógeno total (2.242 mg/L), clorofila *a* (33.8 µg/L) y disco de Secchi (0.27 m) con respecto a los límites tróficos establecidos internacionalmente, el lago tiene una tendencia a la hipereutroficación. Se dividió la zona en trece microcuencas, y las que más impactan se ubican en la zona sur y son: Ajuno, Erongarícuaro, Pátzcuaro y Tzurumútaru con el porcentaje de carga total de N y P de 72.6 y 67.4%, respectivamente. Como las principales fuentes de contaminación se tienen: el agua subterránea, los animales de granja, la agricultura y el agua residual cruda. Se requiere adoptar las mejores prácticas de administración, reforestando el terreno que por su pendiente o aptitud sean inadecuados para la agricultura; además, se requiere revisar y disminuir la contaminación aportada por las plantas de tratamiento de aguas residuales en Pátzcuaro y Quiroga, tomando en cuenta la remoción de nutrientes. Se requiere un acercamiento holístico y socialmente incluyente, que permita la sustentabilidad del binomio lago-cuenca.

Palabras clave: Contaminación difusa, estado trófico, eutroficación, nutrientes, rehabilitación del lago.

1 INTRODUCCIÓN

Los lagos y embalses están sufriendo la creciente presión del desarrollo de actividades humanas, tales como la agricultura, industria, agua de abastecimiento y generación hidroeléctrica. Lo anterior es particularmente cierto para los países tropicales y subtropicales. El incremento en el uso de fertilizantes, cambio de uso de suelo y conversión a zonas agrícolas y de pastizal, y el uso intensivo



pecuario, ha resultado en incrementos de un orden de magnitud en las entradas tanto de aguas superficiales como costeras (Carpenter *et al.*, 1998; Novotny, 2003).

La calidad del agua superficial ha sido desafiada, mientras que el crecimiento económico y demográfico así como el cambio climático se ha extendido y ha sido causa de una severa y generalizada degradación; por lo anterior, la necesidad de revertir este daño se refleja en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sustentable (UNEP, 2016).

Por desgracia, el tratamiento de aguas residuales municipales ha ido incrementando sus costos, por lo que los países en vías de desarrollo han tenido problemas serios para lograr ajustar las necesidades cada vez mayores de extender la infraestructura de alcantarillado, con un tratamiento adecuado y acorde a los nuevos flujos de agua residual. Como resultado, se creó un riesgo significativo de las actividades de la pesca continental, que cubre unos 60 millones de empleos y casi un tercio de la pesca obtenida para consumo humano (UNEP, 2016).

De acuerdo con Strobl *et al.* (2009), el exceso de carga de nutrientes provoca una serie de daños ambientales y socioeconómicos en las cuencas, tales como: 1) una producción reducida de peces, debido a los eventos de eutroficación que, a su vez, provocan muerte de los peces y por ello la pérdida de ingresos; 2) Pérdida del valor estético de un cuerpo de agua, debido a los florecimientos algales / sobreproducción; 3) pérdida de una herencia cultural; 4) Disminución de los ingresos y el empleo relacionado con un turismo reducido; 5) incremento en el desempleo, debido a la disminución de las actividades pesqueras; 6) Una crisis económica al tener una sobrepoblación de especies exóticas, que desplazan y disminuyen a los peces endémicos, muchas veces de mayor poder adquisitivo; y, 7) posible incremento de la inestabilidad social y migración, debido a la pérdida de empleo.

Objetivo

En el presente estudio se plantea obtener una evaluación integral del lago y su cuenca, por medio de dos acciones complementarias: a) la evaluación de la calidad del agua del lago de Pátzcuaro (datos de 2006 – 2011); y b) el análisis de las cargas de nutrientes por medio del modelo hidrológico y de calidad del agua, con interface a un Sistema de Información Geográfica (AVGWLF). Con la información obtenida, se plantea generar las bases de una propuesta de rehabilitación del cuerpo de agua y manejo de cuenca.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El lago de Pátzcuaro se localiza en la Región Hidrológica Núm. 12 y a una altitud importante (2,035 msnm), en la parte alta de la Mesa Central de México, a 19° 32' y 19° 42' de latitud norte; y a 101° 32' y a 101° 42' de longitud oeste. Cuenta con un área superficial de 92.5 km², que lo convierte en el tercer cuerpo de agua natural más grande en el país.

Desde 2003, con el inicio de un ambicioso proyecto para recuperar el desarrollo sustentable de la cuenca; y, posteriormente en agosto de 2006, con un programa de monitoreo a medio plazo (con frecuencia de muestreo bimensual, seis estaciones de muestreo, una profundidad, debido a la homogeneidad de la columna y con la inclusión de cuatro descargas de agua municipal) se realizó, con la cobertura de cerca de 30 parámetros de calidad del agua. La evaluación del lago y sus descargas incluyó los siguientes objetivos: a) Evaluación de perfiles de calidad del agua; b) Estimación del estado trófico; c) Caracterización de las descargas municipales localizadas alrededor del lago; c) El muestreo

de cuatro humedales artificiales localizados en el centro y sur del lago; y d) Estudio de las algas, así como de los florecimientos de Cianofitas y sus toxinas generadas.

Pátzcuaro es una cuenca cerrada (endorreica) de tipo cálido tropical en el que la evaporación media es significativamente mayor que la precipitación (1,393 y 775 mm, respectivamente). Durante el estudio, presentó una profundidad máxima de 10.5 m y una profundidad media de 4.7 m, que lo clasifica como un lago somero y presenta una mezcla diaria casi constante. El lago presenta una calidad de agua dura y, como el lago de Chapala, presenta una turbidez notable, que es provocada por los sedimentos finos que se mantienen constantemente en suspensión por las fuerzas que ejerce el viento sobre la superficie del lago. El lago ha presentado altas concentración de nutrientes que, a su vez, han provocado la degradación de la calidad del agua, y resultando en crecimiento de algas verde-azules, así como macrofitas flotantes de lirio acuático, que casi siempre se presentan al sureste del cuerpo de agua (Chacón-Torres, 1993; Bernal-Brooks et al., 2002; Bravo-Inclán et al., 2008).

La economía de la región depende principalmente del turismo, actividades forestales, la pesca y actividades artesanales, que destacan como una zona muy importante (García-Villanueva, 2007). La literatura nacional e internacional ubica al lago de Pátzcuaro como uno de los cuerpos de agua más estudiados en nuestro país (Banderas-Tarabay et al., 2000). En la Tabla 1 se presenta un resumen de la información del área de estudio.

A pesar de que el lago de Pátzcuaro está localizado a una notable altitud, su ubicación geográfica, al sur del trópico de Cáncer (por debajo de los 23° 26' de latitud N), ubica a este cuerpo de agua como cálido tropical. No obstante y con frecuencia, la literatura relacionada con estudios limnológicos está más asociada con cuerpos de agua templados, que están localizados en latitudes más al norte y por encima de los 24° o 25° de latitud norte (por ejemplo, numerosos estudios de los EE.UU., Europa, Canadá, etc.). No obstante, una gran parte del territorio mexicano centro y sur es más bien seco y con pocos cuerpos de agua y está localizado en un clima cálido (Bernal-Brooks et al., 2016).

Tabla 1. Características físicas, climáticas y demográficas del lago de Pátzcuaro y su cuenca

Parámetros físicos		Parámetros climáticos y demográficos	
Altitud (m.a.s.l.)	2,035	Clima	Templado subhúmedo
Área de la cuenca (km ²)	933	Temperatura media anual (°C)	16.3
Área del lago (km ²)	92.5	Precipitación media anual (mm)	775
Tas del área de cuenca : área del lago	10.1	Evaporación media anual (mm)	1,393
Volumen del lago (x 10 ⁶ m ³)	368.5	Población de la cuenca	Un estimado de
Profundidad máxima (m)	10.9		120,000
Profundidad media (m)	3.9		residentes
Largo máximo (km)	17.6		
Ancho máximo (km)	10.4		

Modificado de: Chacón-Torres, 1993 y García-Villanueva, 2007.

El clima de la cuenca es templado subhúmedo, con una temperatura media anual de 16.3°C y una diferencia pronunciada de precipitación entre la época de secas y de lluvias. Se estima que la población de la cuenca es de 120,000 habitantes (Chacón-Torres, 1993; García-Villanueva, 2007). El cinturón volcánico transversal Mexicano incluye a las tierras altas del centro de México, que están ubicadas

desde la costa del Pacífico hasta el Golfo de México, con numerosas montañas volcánicas de origen Terciario y Cuaternario (Bernal-Brooks et al., 2016)

Muestreo en el lago

Con base en la morfología del lago y en estudios previos, se establecieron cinco estaciones de muestreo (Tabla 2 y Figura 1). La metodología de muestreo que se usó se describe por Castagnino (1982) y con modificaciones propuestas por Olvera-Viascán et al. (1998). Estos procedimientos están basados en la metodología de evaluación de la eutroficación de lagos cálidos tropicales. La mayoría de las muestras fueron tomadas en envases limpios de plástico que fueron previamente enjuagados dos veces con el agua de muestreo y, posteriormente, se mantuvieron en hieleras, fuera de la luz y a $4\pm 3^{\circ}\text{C}$ durante el transporte al laboratorio.

En cada estación, se realizaron dos actividades: la lectura de la profundidad de visión del disco de Secchi (DS) y la toma de dos muestras de agua. Para la obtención de la muestra de clorofila *a* (*Cl a*), se obtuvo una muestra integrada por medio del método de manguera (o con el uso de una botella Van Dorn); se obtuvo el agua desde la superficie a dos veces el valor del disco de Secchi y, para el resto de los parámetros se obtuvo una muestra compuesta y de toda la columna de agua, por medio de la botella Van Dorn procedente de cuatro profundidades (por ejemplo, para una profundidad de 3 m, el agua fue colectada por debajo de la superficie, a 0.5, 1.5 y 2 m).

Tabla 2. Localización de las estaciones dentro de lago

Clave de la estación	Nombre de la estación	Coordenadas	
		Latitud norte	Longitud oeste
E-1	Quiroga	19° 39' 13"	101° 34' 13"
E-2	Espíritu	19° 38' 13"	101° 37' 47"
E-3	Napízaro	19° 35' 23"	101° 40' 07"
E-4	Janitzio Sur	19° 33' 29"	101° 38' 53"
E-5	Pacanda	19° 33' 29"	101° 38' 54"
E-6	Embarcadero	19° 32' 55"	101° 37' 13"

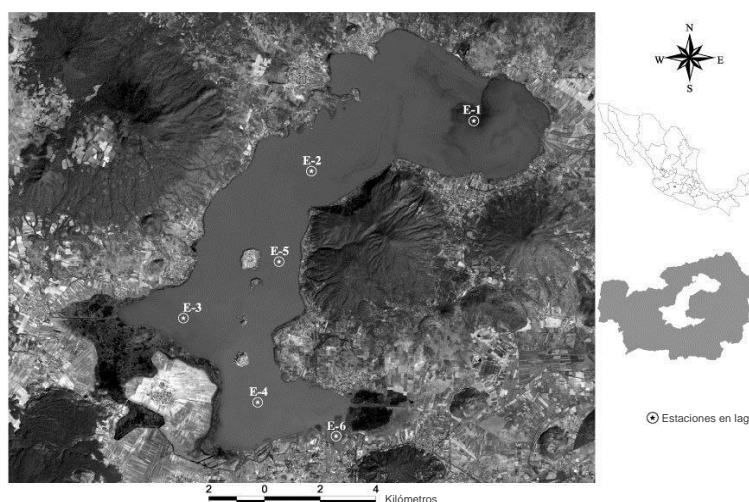


Figura 1. Estaciones de muestreo en el lago de Pátzcuaro

Cabe aclarar que las primeras cinco estaciones (E-1 a E-5) son de tipo limnético y la estación E-6 Embarcadero se ubica en una zona más somera (aprox. 0.8 – 1 m) con mayor influencia litoral, así como el impacto de las lanchas que se trasladan del embarcadero principal a la isla de Janitzio.

Los análisis de las variables físico-químicas (fósforo total, nitrógeno total, *Cl a*, y dureza) fueron realizados en un laboratorio acreditado, de acuerdo a los ‘Métodos Estándar’ (APHA, 2005).

Uso del modelo AVGWLF y muestreo en la cuenca

La metodología considerada para determinar la carga de nutrientes se sustenta en el uso de un modelo que utiliza un Sistema de Información Geográfico (GIS), y la interface de un modelo hidrológico y de calidad del agua. El modelo se denomina AVGWLF (que viene de las palabras en inglés, ArcView Generalized Watershed Loading Function Model). El AVGWLF es un modelo de cuenca originalmente desarrollado por Haith y Shoemaker (1987), y que está integrado por una interface de ArcView® que permite la extracción fácil y más precisa de los datos de entrada para el modelo (Evans et al., 2008, Strobl et al., 2009).

El GWLF es un modelo de simulación continua, en donde los valores diarios son acumulados para expresar los valores mensuales y anuales en la salida final (Haith y Shoemaker, 1987). El fundamento del GWLF es un método de balance de agua, basado en el uso de la precipitación y temperatura media diaria, para estimar el flujo de corriente y la escorrentía. Una de las mayores ventajas del modelo es su facilidad de uso y su confiabilidad con bases de datos que son menos complejas que aquellas requeridas por otros modelos hidrológicos / calidad del agua, tales como SWAT, HSPF, etc. (Strobl et al., 2009). Este modelo ha sido muy usado en diversas cuencas incluyendo lugares como los EE. UU., México, Ecuador y Chile. En México, el modelo AVGWLF ha sido adaptado por el IMTA en varias cuencas del país, tales como: Pátzcuaro, Cuitzeo, río Apatlaco y Lerma-Chapala (Mijangos-Carro et al., 2008).

Para una descripción más detallada del modelo, el lector se debe referir a Evans et al. (2008). Los detalles de la metodología de obtención de los datos espaciales y no espaciales de la cuenca de Pátzcuaro, se explican con detalle en Mijangos-Carro et al. (2008)

3 Resultados

El lago fue clasificado como cálido tropical polimíctico, con una mezcla frecuente de la columna de agua; el proceso de mezcla es casi diario, debido a la relativamente fuerte acción del viento (se tiene un “*fetch*” de unos 17-18 km de longitud), por ello, se encontró una sola calidad del agua a través de toda la columna de agua y que se demuestra con los perfiles de temperatura y oxígeno disuelto (Sánchez-Chávez et al., 2011; Bravo-Inclán et al., 2012).

Los valores de pH a lo largo de seis años de monitoreo presentaron un ámbito de 7.40 a 9.91 unidades y con un promedio de 8.74 ± 0.43 unidades, que denota un ambiente alcalino, que en momentos de poco viento se incrementa en la superficie, por causa de la productividad fitoplanctónica y que es un medio propicio para las cianobacterias, ya que, de acuerdo con Ramírez-García et al. (2004), estos organismos tienen un crecimiento adecuado en un ámbito de pH de 6.5 a 8.5 unidades.

El lago presentó una calidad de agua dura (175.5 ± 18.2 mg/L) y alcalina (473 ± 42 mg/L) e, igual que el lago de Chapala, se reportó una marcada turbidez causada por los sedimentos que se mantienen en suspensión por las fuerzas del viento sobre el lago. Las altas concentraciones de nutrientes en el agua del lago han provocado una degradación de la calidad del agua, que promovieron crecimientos de cianobacterias, así como macrofitas acuáticas flotantes de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*, entre otras), sobre todo, en la parte sureste del lago, en las estaciones E-6 Embarcadero y E-4 Janitzio sur.

El fósforo total y el nitrógeno total, tuvieron un valor promedio de 0.165 y 2.242 mg/L, respectivamente. Los dos valores coinciden en señalar una condición de hipereutroficación en el ecosistema acuático (Figuras 2 y 3). Cabe destacar que, en general, los nutrientes se encuentran ligeramente más altos en la zona sur del lago, sobre todo, en la estación E-4 Janitzio Sur, seguida de E-3 Napízaro.

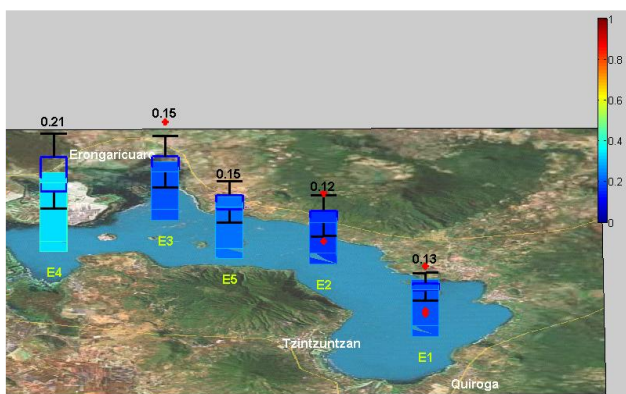


Figura 2. Variación espacial promedio de fósforo total en el lago de Pátzcuaro, periodo agosto 2006 – diciembre 2009. Nótese que los valores de arriba a la izquierda, corresponden a la parte sur del lago.

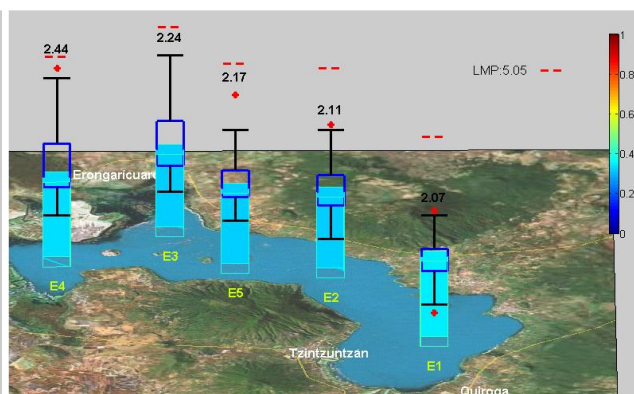


Figura 3.- Variación espacial promedio de nitrógeno total en el lago de Pátzcuaro, periodo agosto 2006 – diciembre 2009. Nótese que los valores de arriba a la izquierda, corresponden a la parte sur del lago.

La concentración de clorofila *a* presentó un valor medio de 33.8 ± 41.1 $\mu\text{g/L}$ y sobrepasa el límite eutrófico – hipereutrófico de 25 $\mu\text{g/L}$ reportado por Nürnberg (1996). Varios autores reconocen a la Cl *a*, como un parámetro muy adecuado para estimar el estado trófico de un cuerpo de agua (Holdren et al., 2001; Cooke et al., 2005). Los valores del disco de Secchi tuvieron un promedio anual de 0.27 m que, de acuerdo con Nürnberg (1996), estos resultados también ubican claramente al lago en un estado hipereutrófico; aunque la notoria presencia y resuspensión de sedimentos en la columna de agua del lago invalida la posible utilización de esta variable como indicador del estado trófico. En resumen, los nutrientes y la clorofila *a* muestran una alta probabilidad de que el lago sea eutrófico-hipereutrófico.

Durante estos seis años (2006-2011), se observó que la comunidad fitoplanctónica fue cada vez más dominada por las cianobacterias, con una representación notoria de *Aphanizomenon gracile* seguida, en menor medida, por *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis pulvera* y *Anabaena affinis*. Se detecta que el viento predominante es de sur a norte, el cual empuja a las cianobacterias a las orillas del norte, y concentran los florecimientos en las estaciones E-1 Quiroga y E-2 Espíritu (Tomasini-Ortiz et al., 2011).

Por otro lado, se ha observado una baja sensible en el nivel del lago sobre todo en la parte sur del lago, en este medio se ha desarrollado un gran plantas acuáticas (o malezas) que al proliferar, impiden la entrada de luz hacia la columna del cuerpo de agua, necesaria para las plantas sumergidas. Estas malezas y se crecimiento casi explosivo, aceleran el proceso de eutroficación, además de que dificultan las actividades navegación y la pesca. En el lago de Pátzcuaro estos problemas se están presentando, sobre todo en la parte sur (Erongarícuaro, Jarácuaro, Pátzcuaro y Tzurumútaru) en donde se ha estimado una cobertura de alrededor de 1,700 ha (Huerto-Delgadillo *et al.*, 2011), de diversas plantas, catalogadas como: vegetación sumergida, enraizada emergente y flotante (Figura 4). En dicho mapa se observa un incremento significativo de hidrofítas emergentes en la zona suroeste del lago (de los Urandenés hasta Erongarícuaro), así como en el sureste (desde la desembocadura del dren Tzurumútaru hasta la zona cercana al muelle principal). La zona de humedal tiende a volverse “más terrestre” y se llega a ocupar por otros usos, como la ganadería.

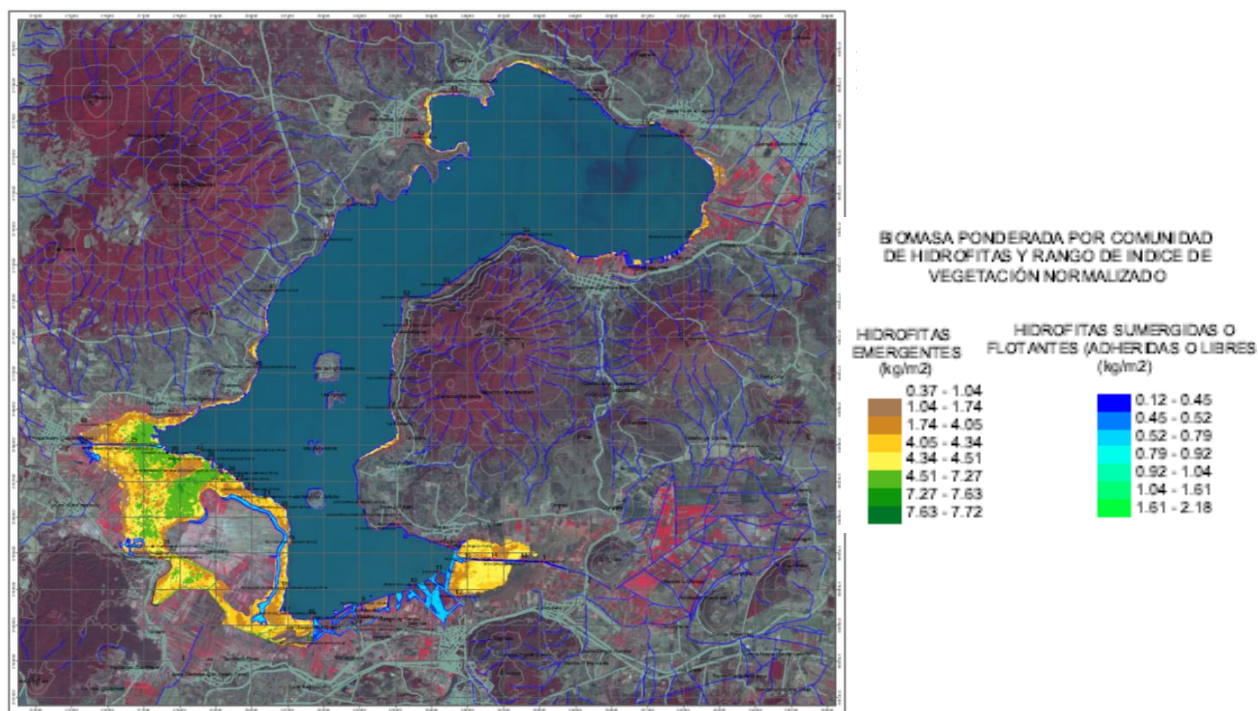


Figura 4. Evaluación de la extensión y biomasa de hidrofítas en el lago de Pátzcuaro. Fuente: Huerto-Delgadillo *et al.*, 2011.

El lago de Pátzcuaro tiene varios tributarios, entre los más importantes, se encuentran los arroyos de Quiroga, Santa Fe y Guani, así como el dren Tzurumútaru o Chapultepec, el cual está influido por agua de retorno agrícola. Las trece microcuencas se presentan en la Figura 5.

El porcentaje de la entrada de N-total es como sigue: las fuentes puntuales contribuyen con 19.2% y las fuentes difusas con un gran total de 80.8%. Por otro lado la entrada de P-total fue de 32.9% para las fuentes puntuales, y de 67.1% para las fuentes difusas.

La microcuenca que genera la mayor carga de N-total es Ajuno, con el 28.5%; seguido de la microcuenca Erongarícuaro genera el 25.4%, Pátzcuaro con 12.7 % y Tzurumútaru con 5.8% (Tabla 3).



IV CONGRESO
NACIONAL

**MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

En cuanto al P-total la mayor carga proviene nuevamente de Ajuno con 22.1%, Pátzcuaro con 21.2 %, Erongarícuaro con 14.0% y Tzurumútaró el 10.0 por ciento.

En la Figura 6 se aprecia que la agricultura, el desarrollo pecuario y el agua residual proveniente de fosas sépticas dispersas, son los principales aportes. Cabe resaltar que otro componente importante son las aguas residuales municipales provenientes de fuentes puntuales.

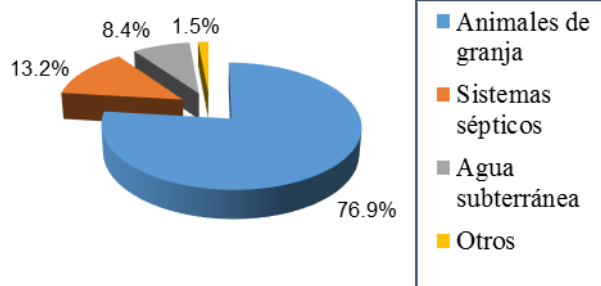


Figura 5. Relación de las trece microcuencas en el lago de Pátzcuaro. Fuente: Mijangos *et al.*, 2008.

Figura 6.- Contribución de fuentes difusas de P-total, de acuerdo con el uso del suelo

Tabla 3. Cargas de nutrientes de N-total y P-total provenientes de fuentes difusas. Microcuencas de la cuenca del lago de Pátzcuaro. (datos de 2006 y 2007). Fuente: Mijangos *et al.*, 2008.

Núm.	Nombre de la microcuenca	% N-total	% P-total	% N-total	% P-total
		Individual		Acumulado	
1	Ajuno	<u>28.58</u>	<u>22.16</u>	<u>28.58</u>	<u>22.16</u>
2	Tzurumútaró	<u>5.83</u>	<u>10.03</u>	<u>34.41</u>	<u>32.19</u>
3	Erongarícuaro	<u>25.45</u>	<u>14.04</u>	<u>59.86</u>	<u>46.23</u>
4	Pátzcuaro	12.72	21.19	72.58	67.41
5	Patambicho	2.52	4.43	75.09	71.84
6	San Andrés	4.19	5.82	79.29	77.67
7	Quiroga	2.97	5.28	82.25	82.95
8	Tzintzuntzan	2.31	3.53	84.56	86.48
9	Santa Fe de la Laguna	1.95	2.91	86.51	89.38
10	Napízaro	6.69	2.49	93.20	91.88
11	San Jerónimo	1.35	1.81	94.55	93.69
12	Puácuaro	3.06	3.77	97.61	97.45
13	Huecorio	2.39	2.55	100.00	100.00

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la Figura 7 se presenta la tendencia de N-total y P-total en la columna de agua. Se observa un claro incremento de ambos nutrientes en el tiempo. Por estación y en promedio, el N-total se presenta con valores significativamente más altos en las dos estaciones del sur, E-4 Janitzio Sur y E-3 Napízaro, con 2.197 y 2.083 mg/L, respectivamente. Por otro lado, para el P-total, los valores promedio que más resaltan son para las estaciones E-4 Janitzio Sur y E-5 Pacanda, con 0.179 y 0.148 mg/L, respectivamente. Los altos valores de P y N indican que en varias ocasiones, estos nutrientes no son – en absoluto –, limitantes. En resumen, por dichos resultados se confirma que se presenta una franca eutrofía en el lago considerando el N-total; y con peligro de acentuar las condiciones hacia un eje eutrófico-hipereutrófico en los parámetros Cl a, Secchi y P-total, razón por la cual debe continuar con el control de las cargas de nutrientes y sólidos al sistema acuático.

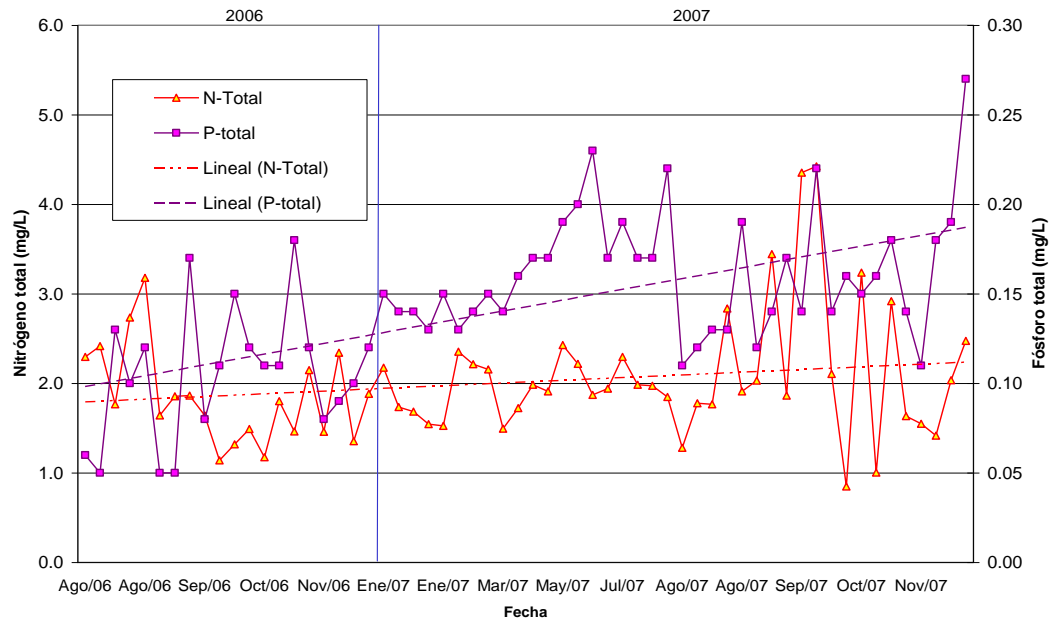


Figura 7. Tendencia del nitrógeno total y del fósforo total, lago de Pátzcuaro.

Por los resultados obtenidos se confirma una relación directa de calidad del agua de baja calidad, con parámetros que se unen en causa efecto: la relación de más concentración de nutrientes, da por resultado una clasificación más alta en el estado trófico, que a su vez se corrobora con los florecimientos algales y un ambiente alcalino, relacionado con la alta productividad del medio acuático. Hasta el momento y en parte debido a la baja profundidad del lago así como a su característica de polimíctico (mezcla casi diaria), aún no se presenta una marcada anoxia en el fondo del cuerpo de agua.

Otro factor que ayuda a controlar la excesiva reproducción del lirio, es debido a la gran altura en la que se presenta el lago de Pátzcuaro ($>2,000$ msnm), que provoca que en el invierno se llegue a controlar esta maleza, debido a las bajas temperaturas, poco antes del amanecer.

Conclusiones

La columna de agua en cada estación del lago presenta una condición homogénea, que se demuestra con los perfiles de temperatura y oxígeno disuelto.

Al comparar los valores promedio de fósforo total, nitrógeno total, clorofila *a* y disco de Secchi con respecto a los límites tróficos establecidos por varios autores, se plantea que el lago es eutrófico, pero que tiene una gran probabilidad de hipereutroficación.

Se requiere implementar el conocimiento de la cuenca y la calidad de los cuerpos de agua, así como entender las causas subyacentes, con el fin de desarrollar acciones para su mejora, incluyendo el control en el punto de inicio, el tratamiento de agua residual, el manejo de ecosistemas y nuevas formas de gobernanza local y educación ambiental (UNEP, 2016).

El lago de Pátzcuaro se caracteriza por una creciente influencia antropogénica, caracterizado por el vertido de aguas residuales con una baja eficiencia en el tratamiento de aguas, deforestación y erosión



de la cuenca. Pátzcuaro es un lago cálido tropical somero de gran altitud. Por estar ubicado a una altura importante, se detecta que tiene algunas características semejantes a los lagos templados. Al igual que el lago de Chapala, que presenta una notable turbidez provocada por alta concentración de arcillas en el agua.

La presencia de cianofíceas en ambientes acuáticos, sobre todo si producen florecimientos, debe ser considerada *a priori* como un indicio de eutroficación, es decir de aguas con exceso de nutrientes.

Las concentraciones promedio en la columna de agua de P-total y de N-total de 0.165 mg/L y 2.242 mg/L, se traduce en una concentración promedio elevada de clorofila *a*, con 33.8 µg/L, que denota un problema de enriquecimiento de nutrientes alto, que afecta al cuerpo de agua. Esto es a pesar de un programa ambicioso de recuperación del lago. Se piensa que es positivo el que, al menos, con dicho plan de recuperación, el lago se mantenga relativamente estable. Se sabe que un plan de restauración puede llevar muchos años para que se logren ver resultados tangibles (p. ejemplo, > 10 años).

De acuerdo con el uso del modelo AVGWLF, los resultados indican que las microcuencas que más contaminan al lago son: Ajuno, Erongarícuaro, Pátzcuaro y Tzurumútaró con el 72.6 y 67.4 % de las cargas totales de N-total y de P-total de la cuenca.

Para el N-total las principales carga de contaminación son: el agua subterránea, los animales de granja y la agricultura. En cambio, para la carga de P-total los factores más importantes son: primero los animales de granja, los sistemas sépticos y en tercer lugar el agua subterránea. No pasar por alto el aporte de fuentes puntuales tales como el tratamiento de aguas residuales provenientes de Pátzcuaro, Erongarícuaro y Tzintzuntzan.

La carga de nutrientes de Fuentes antropogénicas al lago son importantes y pueden causar un avance en la eutroficación del cuerpo de agua. Las causas finales de la creciente contaminación del agua son el crecimiento poblacional, el incremento de la actividad economía, la intensificación o expansión de la agricultura y el incremento de aguas de alcantarillado con un bajo o sin el debido nivel de tratamiento (UNEP, 2016).

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece sobre todo a la Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. (FGRA), por el apoyo financiero durante los seis años, Informe técnico No. TC-0847; este trabajo formó parte del “*Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, 2003-2007*” (FGRA-IMTA, descrito en García-Villanueva, 2007 y Sánchez-Chávez *et al.*, 2011).

6. LITERATURA CITADA

- APHA (American Pollution Health Association). 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th Ed. American Pollution Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation. Washington, D.C., 1268 págs.
- Chacon-Torres, A. 1993. Lake Patzcuaro, Mexico: watershed and water quality deterioration in a tropical high-altitude Latin American lake. *Lake and Reservoir Management* 8(1): 37-47.
- Banderas-Tarabay, A., González-Villela, R., & R. A Morales-Pérez, 2000. Diagnóstico ambiental del lago de Pátzcuaro, Mich., México. (*Environmental Diagnosis of Lake Patzcuaro, Mexico*). Mexican Institute of Water Technology (IMTA). Final Report HC-2025.



- Bernal-Brooks, F. W., Gomez-Tagle, R. y Alcocer, J. 2002. Lake Patzcuaro (Mexico): a controversy about the ecosystem water regime approached by field references, climatic variables and GIS. *Hydrobiologia* 467: 187-197.
- Bernal-Brooks, F., Sánchez-Chávez, J.J., Bravo-Inclán, L., Hernández Morales, R., Martínez Cano, A. K., Lind, O.T. y Dávalos-Lind L. 2016. The algal growth-limiting nutrient of lakes located at Mexico's Mesa Central. *Journal of Limnology*. 75: 169-178.
- Bravo-Inclán, L., Sánchez-Chávez, J.J., Tomasini-Ortiz, A. y Cordova-Rodríguez, M. A. 2008. Trophic State assessment of a high altitude Water Body, Lake Patzcuaro, Mexico. *In The 12th International Conference on Diffuse Pollution*, Khon Kaen, Thailand. 7 págs.
- Bravo-Inclán, L., Tomasini-Ortiz, A.C., Sánchez-Chávez, J.J. y G. Moeller-Chávez, 2012. Estudio de eutroficación del lago de Pátzcuaro, Mich. y su relación con los florecimientos de cianobacterias. *En: el XXII Congreso Nacional de Hidráulica (AMH)*, Acapulco, Gro., memorias en USB, 7 pp.
- Carpenter, S.R. Caraco, N.F. Correll, D.L. Howarth, R.W. Sharpley, A.N. y Smith, V.H. 1998. "Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen". *Ecological Applications* 8, 559–568.
- Castagnino, W.A. 1982. Investigación de modelos simplificados de eutroficación en lagos tropicales. Reporte técnico. World Health Organization (WHO)/Pan American Health Organization (PAHO)/Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Science (CEPIS). Perú, 27 págs.
- Cooke, G.D. Welch, E.B. Peterson, S.A. y Nichols, S.A. 2005. *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*. CRC/Lewis, third edition. Boca Raton. 591 págs.
- Evans, B., Lehning, D.W. y Corradini, K.J. 2008. AVGWLF version 7.1 Users Guide. Penn State Institutes of Energy and the Environment, the Pennsylvania State University, EE. UU.
- García-Villanueva, N. H., 2007. *Memoria Ilustrada del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro. Avances 2003-2007*. Gonzalo Río Arronte Foundation / Mexican Institute of Water Technology (FGRA-IMTA). N. García-Villanueva (Ed.). México. 144 págs.
- Haith, D.A., y Shoemaker, L.L. 1987. Generalized watershed loading functions for stream flow nutrients. *Water Resour. Bull.* 23: 471– 478.
- Holdren, C. Jones, W. y Taggart, J. 2001. *Managing Lakes and Reservoirs*. North American Lake Management Society and Terrene Institute, in Cooperation with the Office Water Assessment of Watershed Protection Division, U.S. EPA. Madison, Wisconsin. 381 págs.
- Huerto D.R., Vargas V.S. y Ortiz P.C. 2011 *Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable*. Primera edición. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Jiutepec, Mor., 308 págs.
- Mijangos-Carro, M. Izurieta-Dávila, J. Gómez-Balandra, A. Hernández-López, R. Huerto-Delgadillo, R. Sánchez-Chávez, J. y Bravo-Inclán, L. 2008. Importance of diffuse pollution control in the Pátzcuaro Lake Basin in Mexico. *Water Science & Technology* 58(11), 2179-2186.
- Novotny, V. 2003. *Water Quality: diffuse pollution and watershed management*. 2nd Edition. John Wiley & Sons. New York. 864 págs.



- Nürnberg, G.K. 1996. Trophic state of clear and colored, soft- and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. *Lake and Reservoir Management* 12(4): 432-447.
- Olvera-Viascán, V. Bravo-Inclán, L. y Sánchez-Chávez, J. 1998. Aquatic ecology and management assessment in Valle de Bravo Reservoir and its watershed. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 1(3-4), 277-290.
- Ramírez-García, P. Martínez-Romero, E. Martínez-Salgado, M.D. y Eslava-Campos, C.A. 2004. Cianobacterias, microorganismos del fitoplancton y su relación con la salud humana. *Instituto Nacional de Ecología*, México, págs 1-18.
- Sánchez-Chávez, J. Bravo-Inclán, L. Tomasini-Ortiz, C. González-Villela, R. Córdova-Rodríguez, M. y Villalobos, H.R. 2011. Monitoreo de la calidad del agua del lago y de las descargas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). *Informe final TC-0847*. Jiutepec, Mor. 205 págs.
- Strobl, R.O., Somma, F., Evans, B.M. Y Saldivar J.M. 2009. Fluxes of water and nutrients from river runoff to the Mediterranean Sea using GIS and a watershed model. *J. Geophys. Res.* 114:1-14 (GO3012).
- Tomasini-Ortiz, A.C., Moeller-Chávez, G., Sánchez-Chávez, J.J. Bravo-Inclán, L. 2012. Cianobacterias y cianotoxinas en el lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Revista AIDIS* 5(2): 93-101.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2016. *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment*. UNEP, Nairobi, Kenya, 162 págs.



Extenso ID: 76. Cueto Espinosa Eliobeth. ESTADO ECOLÓGICO DEL BOSQUE DE RIBERA Y SU RELACIÓN CON AZOLVE EN MANGLARES EN LA CUENCA RÍO ZANATENCO, TONALÁ, CHIAPAS.

[Regresar al índice](#)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO, TEXCOCO, EDO. MÉXICO: elio.cueto@gmail.com

RESUMEN

Los bosques de ribera son considerados como un componente integral de los ecosistemas fluviales debido a que proporciona una gran cantidad de servicios ecosistémicos. A pesar de lo anterior, las presiones directas e indirectas sobre estos ecosistemas, han conducido a una excesiva degradación de su estado natural ocasionando la pérdida de importantes funciones ecológicas tales como: regulación de la temperatura, retención del exceso de sedimentos, reducción de la velocidad de corriente, erosión de los márgenes del río, entre otros. Debido a la importancia de contar con un índice que evalué la calidad de los bosques de ribera, el objetivo del presente trabajo fue determinar el estado actual del bosque de ribera y su relación con el azolve de manglares en la cuenca del río Zanatenco, Tonalá, Chiapas. Se trabajó con una versión del Índice Calidad de Bosques de Ribera (QBR) adaptada a la cuenca costera del pacífico, zona Istmo-Costa de Chiapas (QBR-Costa). La cuenca se dividió en zona alta, media y baja. Se establecieron 13 sitios de muestreo con una longitud de 150 m y un ancho de ribera variable (20 m zona alta, 30 m zona media y 40 m zona baja). Adicionalmente, mediante el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI) se evaluó la pérdida de cobertura de manglar para el período 1999-2015. De acuerdo con los resultados el 46.2% de los sitios presentaron valores de calidad de muy buenos a excelentes (QBR-Costa > 75), mientras que el 53.8% presenta valores de calidad intermedia (QBR-Costa = 65) a pésima calidad (QBR-Costa < 50). El análisis de cobertura de manglar mostró una disminución del 78.2% para el año 2015 con respecto al año 1999. La ganadería, la agricultura, la extracción de grava y arena fueron identificadas como agentes asociados a la degradación del bosque ripario. De manera general la cuenca del Río Zanatenco presenta una calidad buena a intermedia (QBR-Costa = 59) con indicios de alteración importante pero con posible recuperación a mediano plazo.

Palabras clave: Bosque de ribera, QBR-Costa, Cuenca, Estado ecológico, Zanatenco, Manglares

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las cuencas y en especial el bosque de ribera están sufriendo una gran presión debido al aumento poblacional, a la agricultura, al cambio de uso de suelo, a la extracción de arenas del río, a la ganadería y en ocasiones a eventos naturales. Todos los factores mencionados están llevando a las cuencas a un deterioro demasiado rápido y con ello al azolve en los cuerpos receptores de agua, en este caso, a los humedales de manglares. Los bosques ribereños se consideran la base de la cadena alimentaria de los cuerpos de agua. Las alteraciones en la composición y estructura de la vegetación ribereña pueden causar serios daños a la comunidad de los ríos tropicales. Por otro lado, el papel del



bosque ribereño como corredor y lugar de alimento y descanso para la fauna silvestre es indiscutible e independiente de su ancho. Se ha concluido que todos los parches de bosques ribereños en el sureste de Arizona son importantes como sitios de reposo para animales migrantes, independientemente del tamaño y el grado de aislamiento o conectividad en relación con otros fragmentos de bosque (Ceccón, 2003).

El presente trabajo pretende contribuir a la aplicación del índice QBR en los ríos de México como una estrategia de evaluación con la finalidad de poder obtener el estado ecológico del bosque de ribera. En este caso, el índice fue modificado recibiendo el nombre de QBR-Costa, adaptando algunas de sus características a las cuencas costeras del Estado de Chiapas.

El poder aplicar un índice que valore datos en campo, como lo es el QBR-Costa y conjuntarlo con datos obtenidos de un segundo índice que represente el valor de la cobertura de la vegetación a lo largo de los años, NDVI, utilizando los sistemas de información geográfica nos permiten tener una mejor apreciación de lo que está sucediendo en las cuencas costeras, además, nos permite, ver de manera directa la pérdida de vegetación del bosque de ribera y relacionarlo con el azolve y las áreas perdidas por el mismo, en los humedales de manglar.

El presente estudio tuvo como finalidad generar información actual del estado ecológico de una cuenca costera para que los resultados puedan ser considerados en toma de decisiones correspondientes al manejo de la cuenca, pudiendo ser sociales, económicas, políticas y ecológicas. Con esta investigación se ha logrado obtener el efecto que tiene el casi nulo manejo de la cuenca como sistema de estudio, así como las repercusiones que se generan, por ejemplo, la superficie perdida en las pampas y canales en la cuenca baja, siendo zonas importantes de pesca.

El objetivo principal de dicha investigación fue determinar el estado actual del bosque de ribera y su relación con el azolve en los humedales de manglar mediante la aplicación del índice QBR-Costa y NDVI. Mientras que los específicos fueron; A) Obtener el grado de cobertura y estructura de la vegetación, así como la naturalidad del canal fluvial, en el río Zanatenco. B) Crear mapas comparativos de diferentes años de la cuenca para ver cómo ha variado la vegetación y calcular el área perdida en los humedales de manglar a causa del azolve y C) Identificar las principales causas de degradación del bosque de ribera y las actividades que ponen en riesgo la biodiversidad faunística, así como el estado actual de obras de conservación en el río. Como hipótesis se planteó que, El estado actual del río Zanatenco es bueno en las zonas que tienen algún grado de protección, pero los humedales de manglar están desapareciendo debido al azolve ocasionado por arrastres de sedimentos, causados por la pérdida de cubierta vegetal en la cuenca y en la ribera del río.

(Munné et al., 1998), han diseñado un índice que mide la calidad de la vegetación de ribera in situ llamado QBR, que tiene su origen del acrónimo catalán “Qualitat del Bosc de Ribera”. En México los estudios hacia la calidad del agua son diversos, pero usan metodologías alternas que involucran algunos otros aspectos como lo son, la fauna, la biota, el grado de contaminación entre otros. La NOM-127-SSA1-1994, que abarca el aspecto de la calidad del agua y sus límites permisibles no toca el tema de la vegetación de ribera, incluso de los mismos ríos, por lo que solo se centra en la calidad como tal sin importar de donde provenga. Es posible notar que solo se enfoca a parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.

(Rodríguez, 2012), aplicó el índice QBR para calidad del bosque de ribera en El Tunal, Durango. Lo interesante de este trabajo es la aplicabilidad que le dieron pues no hicieron ninguna modificación para la cuenca estudiada pues afirma que se cuenta con cuatro comunidades vegetales: bosques de coníferas,



praderas de chaparrales, selva seca y humedales costeros. Para la cuenca de interés, Río Zanatenco, se tienen pocos trabajos que estén relacionados de manera directa o indirecta con la vegetación riparia y el estado ecológico del mismo. (Graniel y Carrillo, 2006) Realizaron un estudio de la calidad del agua del río Zanatenco en la misma cuenca. Para dicho estudio fue necesario dividir la cuenca en tres áreas, dependiendo del suministro de agua. El proceso consistió en tomar muestras de agua a lo largo del río para evaluar los parámetros físicos y químicos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El río Zanatenco se encuentra ubicado dentro de la cuenca que lleva el mismo nombre, ésta se localiza dentro de la región Istmo-Costa y cuenta con una superficie de 40,720 Ha, Siendo el municipio de Tonalá quien abarca la mayor parte de la superficie mientras que pequeñas porciones se distribuyen entre los municipios de Villaflores y Villacorzo. La cuenca abarca también, parte de las áreas núcleos Reserva de la Biosfera La Sepultura, la planicie costera y el desemboque del río está ubicado en el ecosistema de manglar inmerso dentro del sitio Ramsar 1823, Santuario Estuarino Puerto Arista.

En caso de que el resultado fuera menor o mayor debido a apartados secundarios integrados en el conteo se procedería a redondear los resultados hasta los mencionados anteriormente. El índice QBR-Costa es una modificación del índice QBR (Munné et al., 1998; 2003) y el QBR-And (Acosta, 2008). Entre las modificaciones que se han realizado se encuentran la anchura de la ribera, el tipo geomorfológico, las especies autóctonas e introducidas, el aumento o disminución de los valores en los cuadros de evaluación, así como el grado de naturalidad del canal fluvial tomando en consideración los eventos climáticos que han ocurrido en la zona como lo han sido los huracanes. La puntuación para cada uno de los cuatro apartados respeta la propuesta original y debe sumar 25 puntos cada bloque por lo que la sumatoria debe encontrarse entre un rango de 0 a 100.

La cuenca se dividió en parte alta, parte media y baja o costera, para poder sacar la división fue necesario obtener las curvas hipsométricas mediante sistemas de Información geográfico, en este caso ArcGis 10.1 y para cada una de ella se propone una longitud diferente. Se establecieron 13 tramos para ser evaluados, éstos tuvieron una longitud a lo largo del río de 150 m de largo en línea recta.

No se propuso el mismo esfuerzo pues la finalidad fue evaluar la vegetación de ribera, la parte alta y media es posible confundirse con el bosque adyacente en caso de tomar la anchura que indicada por (La Agència Catalana de l'Aigua, 2006).

Los bloques evaluados con que consta el índice se presentan en el cuadro 1 y se escriben debajo de ésta.

Nivel de calidad	QBR-Costa	Color representativo
Vegetación de ribera con calidad excelente, estado natural.	>91	Azul
Calidad muy buena, vegetación de ribera ligeramente perturbada con posible recuperación a corto tiempo	>76-90	Verde
Calidad buena-Intermedia con Indicios de alteración importante con posible recuperación a mediano tiempo.	>51-75	Amarillo
Mala calidad con alteración fuerte y posible recuperación a largo tiempo.	>26-50	Naranja
Calidad pésima, Degradación extrema con necesidad de restauración ecológica.	<25	Rojo

Fuente: Modificación propuesta del cuadro presentado por La Agència Catalana de l'Aigua, (2006)



Determinación del grado de cobertura de la zona de ribera

Este apartado tomó en cuenta el % de cobertura de la vegetación por lo que es el único factor que se midió, aquí se hicieron algunas excepciones como lo son las plantas anuales y se tomaron en cuenta los árboles silvestres y cultivos, arbustos, lianas, cañas y herbáceas perennes.

Estructura de la cobertura

Este apartado fue realizado basándome en el porcentaje de cobertura que tenían las especies vegetales, en este caso los árboles y arbustos. Solamente se valoró las zonas en que se tenía la presencia de cubierta vegetal arbórea, es decir, la proyección vertical de las copas sobre el suelo y como en muchos casos las poblaciones vegetales no cuentan con tamaño homogéneo se suele encontrar copas de especies tolerantes sobre las intolerantes al sol, por lo tanto, era posible que el porcentaje de cobertura sobrepasara el 100%.

Calidad de la cobertura

Para poder determinar la calidad de la cobertura vegetativa, se propusieron modificaciones al QBR y se adaptaron a las cuencas costeras, dando cuatro tipos;

Tipo 1.- Ribera compuesta por pliegues de rocas que limitan el crecimiento vegetativo.

Tipo 2.- Ribera compuesta con rocas sueltas de mediano y pequeño tamaño que propician el asentamiento de comunidades vegetales.

Tipo 3.- Ribera de tramos intermedios en que presentan en su mayoría arena y una pequeña porción de rocas.

Tipo 4.- Ribera de planicies costeras.

Se elaboró y propuso una lista de especies florísticas, con base en con base en revisiones bibliográficas de las especies en que se describen su origen y distribución a lo largo del país, para ello fue necesario consultar páginas oficiales como lo son Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Comisión nacional para el uso y conocimiento de la biodiversidad (CONABIO) e Instituto Nacional de la Biodiversidad (INBio). Esta última es de Costa Rica y fue de mucha utilidad pues este país comparte una gran población de especies de selva baja caducifolia con México. Una vez elaborada la lista se procedió a contar el número de especies que deberían estar en la ribera del río y que su presencia era un buen indicador de la poca alteración por el ser humano. Se contabilizó el número de especies arbóreas y arbustivas que son nativas de la zona en cada uno de los puntos de muestreo. Finalmente se evaluó la disposición que tienen las especies arbóreas y arbustivas a lo largo del río, es decir, la continuidad de las mismas a lo largo del cauce, dependiendo del estado en que se encontró se asignó un valor.

Grado de naturalidad del canal fluvial

Este apartado consistió en evaluar la modificación de los márgenes del río debido a que la construcción de terrazas a lo largo del río ocasiona que el cauce se vuelva más recto (Agència Catalana de l'Aigua, 2006). Para la finalidad del presente se han realizado algunas modificaciones que fueran aplicables a las cuencas costeras y a la cantidad de actividades que se han realizado debido a los impactos climáticos extremos como lo fue el huracán Stan en el año 2005. Este apartado consistió en ver si existe presencia de elementos antrópicos que hayan modificado el río, ya sea en un solo margen o ambos, o en su defecto que ya se haya canalizado o creado alguna represa en el cauce del mismo, así como extracción de arena.

Construcciones como alambrados para las divisiones del terreno en la ganadería no fueron contabilizadas debido a que no son realmente resistentes a las avenidas fuertes de los ríos por lo que en cualquier momento pueden ser arrastradas y eliminadas del sitio.



Generación de mapas comparativos

Se delimitó la cuenca de interés para poder trabajar a lo largo del río. Para la delimitación de la cuenca se utilizó la herramienta Hidrology, la cual está contenida en Arctoolbox/SpatialAnalyst Tools. Con esta herramienta se obtuvo lo que es el polígono de la cuenca, el área de la misma, la longitud del cauce principal y la zona de humedales.

Para la elaboración de estos mapas se trabajó con imágenes Landsat ETM+ de los años 1999 y 2006, las cuales fueron descargadas del servidor gratuito, “Global Land Cover Facility”, del servidor Earth Explorer del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), se obtuvieron las bandas correspondientes a los años 2013, 2014 y 2015, pertenecientes al satélite Landsat 8. Todas las bandas cuentan con una resolución de 30 m. El proceso consistió en aplicar Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI). Este índice logra predecir la actividad fotosintética de la planta ya que incluye tanto el rango del infrarrojo cercano como la luz roja. La actividad fotosintética de las plantas es determinada por el contenido y la actividad de la clorofila (Verhulst et al., 2010). Para el cálculo se utilizó la siguiente ecuación

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}}$$

Dónde;

R_{NIR} = Reflectancia de la radiación

R_{Red} = Reflectancia de la radiación del rojo visible

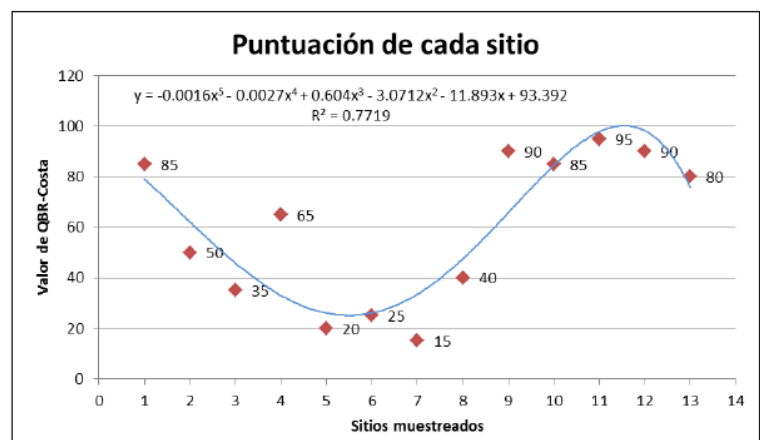
Los resultados de este índice variaron entre 1 y -1, siendo cero el valor que indica la falta de vegetación en el suelo, el valor cercano a -1 puede ser superficies con agua, ciudades o suelo sin cubierta vegetal mientras que el valor más alto implica que el suelo tiene cubierta vigorosa.

Evaluando el cómo se ha afectado los manglares por los azolves que han sido arrastrados por la corriente a lo largo de los años en la cuenca, se efectuó un recorte del NDVI para cada año obtenido, en la parte de los humedales de manglar enfatizando principalmente la parte en que desemboca el río Zanatenco y los esteros que reciben la cantidad de agua y azolve. Asimismo, se obtuvieron los valores más altos y más bajos del índice en la zona de humedales los cuales se reclasificaron. Para dicha reclasificación se propusieron cinco valores dándonos así, cinco clases, estos valores fueron determinados de acuerdo a los píxeles que se obtuvieron en el archivo raster que fue resultado de aplicar el NDVI.

RESULTADOS

Calidad

De los trece sitios que fueron evaluados, con calidad excelente solo se tiene un sitio con un porcentaje del 7.7 % ubicado en la parte alta de la cuenca. Con calidad muy buena se presentan cinco sitios con un porcentaje del 38.5 %, siendo éste el que está mejor representado, los sitios que se encuentran dentro de este rango son 1, 9, 10, 12 y 13, mostrando un patrón de distribución de la parte media a la alta de la cuenca y uno en la parte más baja de la cuenca. Con un 7.7 %, es decir un sitio,



se reportaron de calidad buena a intermedia ubicado en la parte baja de la cuenca, específicamente en la llanura costera del pacifico. Para el último caso se registraron 3 sitios (2, 3 y 8) con un 23.1% para la calidad mala y pésima respectivamente, estos tienen su presencia en la parte media de la cuenca. Los sitios que están inmersos en la categoría pésima son 5, 6 y 7. Esta es parte baja de la cuenca pero que tiene influencia inmediatamente de la parte media.

Haciendo un promedio de las trece estaciones se obtiene como resultado que para la cuenca del Río Zanatenco se obtuvo un valor de 59 puntos lo que lo convierte en un cuerpo de agua calidad buena a intermedia presentando índices de alteración importante con posible recuperación a mediano tiempo. El grafico 1, muestra los resultados obtenidos los cuales están plasmados en el cuadro 2.

Gráf. 1, Resultados por calidad

Cuadro 2, Calidad del bosque de ribera en porcentajes														% por colores
color	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	
Azul (>91)											95			7.7
verde (76-90)	85								90	85		90	80	38.5
Amarillo (>51-75)				65										7.7
Naranja (>26-50)		50	35					40						23.1
Rojo (<25)					20	25	15							23.1
Total														100.0

Fuente: Elaboración propia

La distribución de los puntos que se encuentran en calidad excelente y muy buena corresponden al primer sitio y a los últimos sitios, por lo que se puede afirmar que tal comportamiento corresponde a que en la parte baja se encuentra el sitio Ramsar 1823; que mantiene protegida la ribera del río, y en la parte alta de la cuenca se encuentra la zona núcleo y de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, la cual ha estado trabajando en la zona desde hace mucho tiempo evitando así, la pérdida de cubierta vegetal en la zona. El resto de los puntos constituyen la parte mala y muy mala debido a que la mayoría de la vegetación ha sido quitada por los dueños de los terrenos con la finalidad de crear potreros para el ganado y en el menor de los casos parcelas de cultivo. De igual manera, para los sitios que se encuentran en la zona que está inmediatamente de la ciudad de Tonalá presenta extracción de arena de para uso doméstico y en grandes cantidades con maquinaria pesada. Evaluando los sitios por la puntuación obtenida se puede apreciar que; de los 13 sitios que fueron considerados para el muestreo en total, la que está mejor representada es la puntuación de 76 a 90 con un 38.5 % lo que implica que la calidad es muy buena. Aunque solo se tiene un sitio de calidad excelente es un indicador para seguir con obras de conservación en la parte alta de la cuenca y al mismo tiempo considerarlo como una variable calificativa para las acciones que realiza la REBISE.

Bloques



Los resultados por bloques nos indican que; para el caso del grado de cobertura los valores oscilan entre 0 y 25 pero resaltan con un 53.8 % los sitios que se encuentran entre un intervalo de 15 a 25, ubicados en la parte media de la cuenca hacia arriba. La estructura de la cobertura muestra el mismo patrón que lo anterior, los valores se mantienen en el rango de 0 a 25, ahora bien, se ha calculado un 46% para los valores de entre 15 y 25 mientras que el resto corresponde a valores con puntuaciones menores a 10, mostrando una distribución mayoritariamente de la parte baja y media de la cuenca.

En el caso de la calidad de la cubierta vegetal los valores se mueven en el mismo rango que los apartados anteriores, de 0 a 25 solo que ahora puntea el valor 25 con un porcentaje de 61.5 como valor perfecto y un valor de 84.6% si se contempla entre 15 y 25.

Continuando con el grado de naturalidad fluvial solamente 5 sitios mostraron nula modificación representando el 38.5 %, y el 61.5 % si se toma el intervalo de 15 a 25. Para este apartado se identificaron 7 sitios con geomorfología de tipo 2, así como 5 sitios tipo 4 y un sitio tipo 3.

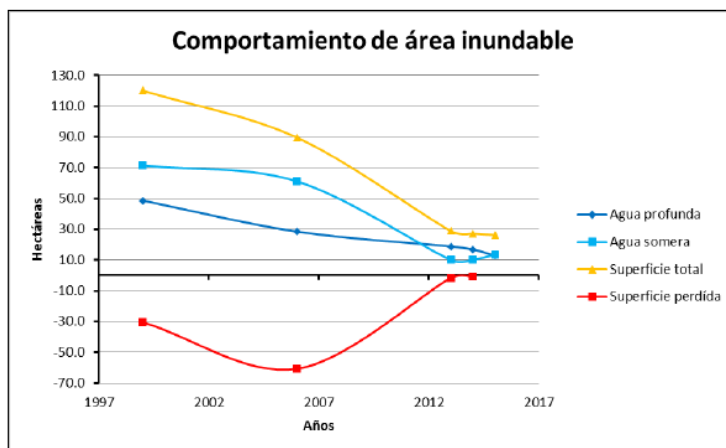
Cambio de vegetación

Tomando a la cuenca en general, para el año 1999, se encontró como resultado una vegetación mucho más conservada teniendo un valor máximo de 0.77 y un valor bajo de -0.95, mientras que el valor más alto descendió demasiado para el transcurso de 7 años, es decir, el año 2006 con un valor alto de 0.55 y un valor bajo de -0.70.

Para la zona del humedal de manglar el valor más alto corresponde a 0.67 y el más bajo a -0.95, comparándolo con los datos de la cuenca en general la zona de humedales tiene un valor más bajo en cuanto a reflectancia. Graficando los datos se puede observar que la vegetación ha disminuido del año 1999 a la fecha y aunque en el año 2013 y 2014 se muestra un ligero incremento de la cobertura se puede apreciar que la tendencia es hacia lo negativo mientras que las áreas que reflejan las zonas descubiertas marcan un gran acercamiento al cero.

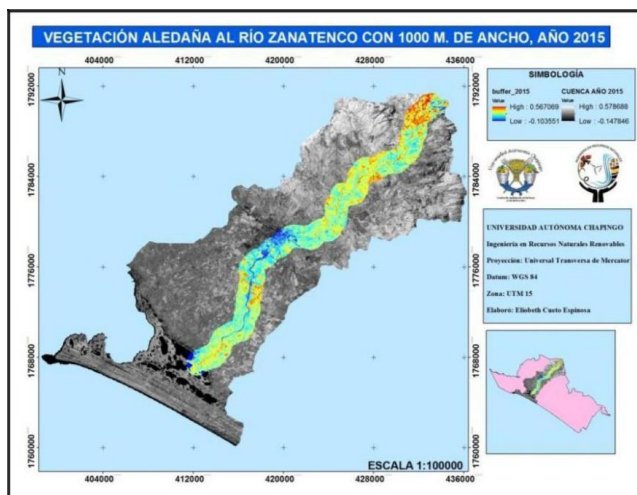
La zona de humedales nos muestra un cambio en la distribución de la vegetación de manglar y una disminución en la superficie del espejo de agua. Matemáticamente los valores de reflectancia muestra la misma tendencia que toda la cuenca a pesar de que solo se evaluaron los humedales. Graficando los valores anteriores se puede ver que en la parte de los humedales de manglar muestra mayor baja en la pérdida de cubierta vegetal que toda la cuenca como sistema, el periodo del año 1999 al 2006 es cuando se muestra la mayor disminución con un 0.23 mientras que, para el resto de los periodos, la cuenca como conjunto, es la que tiene la mayor pérdida. La vegetación de manglar tiende a ser más vigorosa y también en la zona que entra el río. Por lo tanto, para el año 2006 la superficie de agua somera ha disminuido a 61.1 ha de agua somera y a 28.5 ha de agua profunda, es decir, se perdieron 10.4 de ha en el primer caso y 20.1 ha en el segundo.

De las 120 Hectáreas; en total, que se tenía para Playa coyol con zona de pesca por las comunidades la Calzada, El Naranjo y La Laguna, se han perdido desde el año 1999 al 2015 alrededor de 93.8 ha lo que implica un 78.2 % de la superficie. El siguiente gráfico se puede observar la cantidad de hectáreas de agua profunda, somera y en total que tenía la laguna de Playa coyol del año 1999 y cómo ésta fue perdiéndose con los años. También se muestra la cantidad de hectáreas que se han ido perdiendo en la misma zona. El gráfico 2 muestra el comportamiento que tuvo el área inundable en los humedales de manglar.



Gráf. 2, Pérdida de área inundable

El comportamiento del área inundable en los humedales de manglar del año 1999 al año 2015, se ve reflejado en los mapas 1 y 2, el color amarillo representa la vegetación que existía en ese momento y el azul cuerpos de agua, aunque en el medio del cauce es un río en medio de la ciudad. La parte baja en el buffer es el sitio en el que desemboca el río Zanatenco observando así, que el área inundable ha ido desapareciendo a causa del azolve.

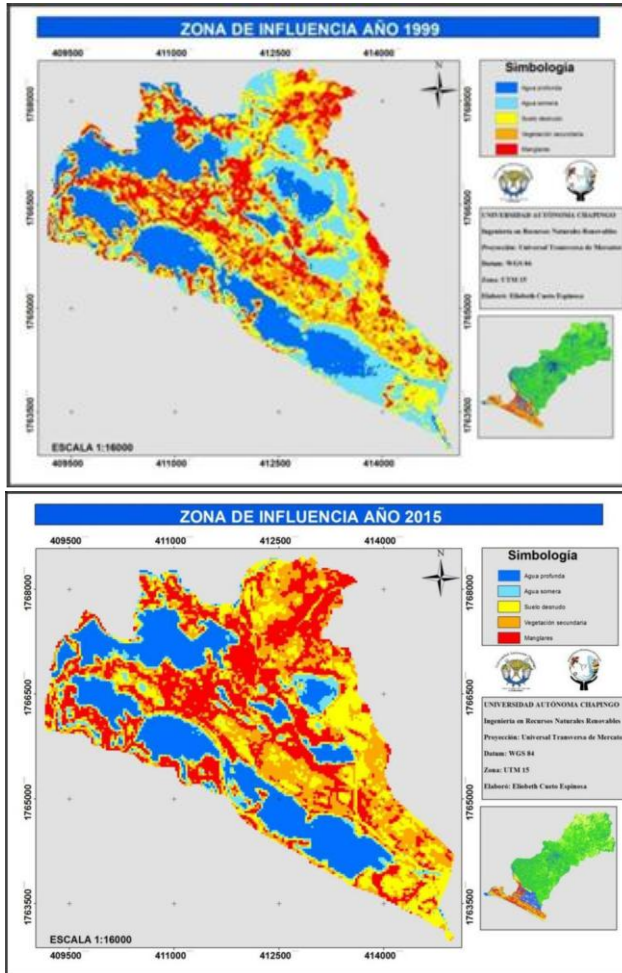


Mapa 1, Cuenca año 1999



Mapa 2, Cuenca año 2015

Los mapas 3 y 4 muestran específicamente el área que recibe los el agua y los sedimentos que provienen de la parte alta y media de la cuenca. Los esteros y lagunas funcionan como zona de depósito siendo fácilmente apreciable que el área inundable de la zona somera (azul celeste), la zona profunda (Azul oscuro) y la zona de cubierta vegetal (color rojo), muestran cambios significativos. La zona inundable en general disminuyó y la cubierta vegetal aumentó, aunque se debe aclarar que no la presencia no es de manglares en su totalidad si no de especies pertenecientes a la selva baja caducifolia, producto del depósito de sedimentos y de semillas a causa del arrastre a lo largo de la cuenca.



Mapa 3, Zona influencia año 1999

Mapa 4, zona influencia año 2015

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La aplicación del índice QBR-Costa resultó ser de mucha utilidad para el análisis del estado ecológico de la cuenca del Río Zanatenco pues muestra una fácil aplicación y adaptabilidad a la zona con sus respectivas modificaciones. Rodríguez et al., (2012) dicen que, dado el origen de este índice, es necesario tomar algunas consideraciones al momento de su aplicación en otros ecosistemas.

El estado actual del bosque de ribera del Río Zanatenco presenta en general una condición de buena a regular y las únicas áreas que están en buen estado son las que están alejadas de los centros poblacionales, cercanas a la Reserva de La Biosfera La sepultura y al sitio Ramsar 1823. La vegetación del bosque ripario tiene importancia en el control de sedimentos que son arrastrados por erosión hídrica en la cuenca, dicha importancia se puede ver con el aumento de azolve en la zona de humedales mientras la vegetación de ribera disminuía en la cuenca y la ribera sin embargo fue posible comprobar que existe un daño a la vegetación del bosque de ribera y que se ha estado mostrando una pérdida de la conectividad con el bosque adyacente por actividades humanas como los son la ganadería, la agricultura de temporal, plantación de frutales, extracción de arena y aumento de la mancha poblacional cerca del cauce.



El río podría considerarse como un sitio estratégico para crear un corredor ribereño y permitir que las especies se desplacen a lo largo de la cuenca con lo cual se unirían el Sitio Ramsar 1823 y La Reserva de la Biosfera La Sepultura. Se recomienda también realizar un estudio de población faunística a lo largo de toda la cuenca y registrar aquellas especies que tienen mayor distribución en la zona riparia para ser consideradas como especies prioritarias de conservación. Asimismo, dentro de la cuenca se tienen puntos en estado ecológico excelente y otros en muy buen estado, por lo que deberían tomarse como puntos estratégicos de conservación y al mismo tiempo ser referencia como punto de partida para años próximos con la finalidad de poder realizar comparaciones en años venideros. Para evitar la pérdida de la ribera se recomienda reforestar las áreas degradadas de la parte media y alta de la cuenca con especies nativas que son de importancia económica y ecológica como por ejemplo, el papause (*Annona macrophyllata*), que es una especie que da un fruto muy bien pagado y que al mismo tiempo se a zonas con pendientes y suelos pedregosos, tal es el caso de la cuenca media y alta, además que para este sitio se distribuye naturalmente, con amate (*Ficus spp*) y Guapinol (*Hymenaea courbaril*), ésta última es una especie maderable y se distribuye de manera natural en la zona.

Los valores del NDVI muestran una clara tendencia hacia valores negativos debido a la pérdida de cubierta vegetal en la cuenca, el aumento de la población, áreas desnudas y la extracción de arena de los ríos, los que a su vez también propician valores bajos para el índice QBR-Cuenca. Los valores altos y bajos de NDVI suelen estar relacionados con la fecha en que fue tomada la imagen satelital, por ello, en los meses de seca se puede apreciar que aumentan notablemente los valores cercanos a cero, aunque también es necesario mencionar que muchos de ellos corresponden a las zonas degradadas, a las zonas con agricultura y a los cuerpos de agua.

El azolve en los manglares es el resultado directo de la pérdida de vegetación en la cuenca; lo cual se pudo apreciar con los valores arrojados por el NDVI; complementado con muchas de las acciones antrópicas que se realizan en la cuenca, se ha llegado a perder gran parte de las hectáreas cubiertas por azolve en los humedales de manglar. Hace 10 años (Tovilla, 2005) afirmó que todos los sistemas lagunares y estuarinos padecen diferentes grados de azolvamiento. Al mismo tiempo afirma que el proceso ya demostró sus efectos sobre las cuencas bajas y la población en septiembre de 1998, cuando lluvias torrenciales facilitaron el desgajamiento de los cerros, provocando grandes avalanchas de agua, lodo y rocas que se abatieron sobre algunas poblaciones como Valdivia, Mapastepec y Pijijiapan, con la consecuente pérdida de vidas humanas. Dichos resultados coinciden con las predicciones del mismo autor, aunque es necesario realizarlo a lo largo de toda la costa de Chiapas, puesto que, una pampa, que por su tamaño no resalta mucho, ya se ha azolvado y es muy probable que muchas otras estén en la misma situación.

Las obras de conservación realizadas en la cuenca presentan algún signo de alteración y el agotamiento de la vida útil y, al complementarse con actividades de cambio de uso de suelo y trampas para especies faunísticas acuáticas se pone en riesgo la diversidad biológica y la seguridad de las personas de la cuenca baja, como consecuencia se tiene que los humedales de manglar presentan una gran zona de afectación por lo que no es recomendable desazolver dichas áreas ni abrir canales que permitan el refluo del agua sin antes realizar obras de conservación de suelo y vegetación en la parte alta de la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Dr. Miguel Ortiz Olguín por su valioso apoyo.



A Global Water Watch- México por su valioso apoyo para dicha participación

A la Cooperativa AMBIO S.C de R.L.

LITERATURA CITADA

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., Prat, N. (2008). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28 (1): 35-64 (2009).
- Agència Catalana de l'Aigua. (2006). Protocolo HIDRI. Protocolo para la valoración de la calidad Hidromorfológica de los Ríos. Pág. (1-56, 64-97).
- Ceccon, E. (2003). Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciencias (43-56).
- Graniel, C. E. & Carrillo, C. M. E. (2006). Calidad del agua del río Zanatenco en el Estado de Chiapas. Artículo de investigación. *Ingeniería* 10-3 (2006) 35-42.
- MUNNÉ, A., C. SOLÁ & N. PRAT. (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua* 175: 20-37.
- MUNNÉ, A., N. PRAT, C. SOLÁ, N. BONADA & M. RIERADEVALL. (2003). A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13: 147-163.
- Rodríguez, T.E., Domínguez, C. P.A., Pompa, G.M., Quiroz, A.J. & Pérez, L.M.E. (2012). Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR. *GayanaBot.* 69(1): 147-151, 2012.
- Tovilla, H.C. (2005). Agonía y desaparición de los ríos y humedales en la costa de Chiapas. Departamento de Aprovechamiento y Manejo de Recursos Acuáticos.ECOSUR.
- Verhulst, N., Govaerts, B., Fuentes Ponce, M. (2010). Sensor portátil GreenSeeker™ para la medición del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI): Una herramienta para la evaluación integral de las prácticas agronómicas. Parte A: Conceptos y estudios de caso. México, D.F.; CIMMYT. Pág. (1-10).



Extenso ID: 328. María Mercedes Castillo-Uzcanga^a, Aarón Jarquín-Sánchez^b, Arturo Torres Dosal^c, Rocío Rodiles-Hernández^d. NUTRIENTES EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO USUMACINTA: COMPARACIÓN ENTRE EL CAUCE PRINCIPAL Y LAS LAGUNAS DE INUNDACIÓN

[Regresar al índice](#)

^aEl Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa, mmcastillo@ecosur.mx

^bEl Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa, ajarquin@ecosur.mx

^cEl Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal, atorres@ecour.mx

^dEl Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal, rrodiles@ecosur.mx

RESUMEN

La interacción entre el cauce principal de los ríos y su plano de inundación, producto del régimen natural de caudal, influye sobre la alta productividad biológica y biodiversidad de estos ecosistemas. El objetivo de este trabajo fue comparar los niveles de nutrientes y clorofila entre el cauce principal del río Usumacinta y lagunas del plano de inundación en dos zonas de la cuenca baja: Centla y Tenosique-E. Zapata. Se seleccionaron lagunas de inundación en cada zona, así como puntos de muestreo sobre el río Usumacinta a la altura de cada laguna y se realizaron muestreos que abarcaron las temporadas de secas y lluvias. En cada punto, se midieron variables fisicoquímicas del agua y se colectaron muestras para análisis de nutrientes y clorofila. Las lagunas de Centla permanecieron comunicadas permanentemente con el río Usumacinta a través de sus canales de acceso y estuvieron bajo la influencia de la intrusión salina, mientras que las lagunas de Tenosique-E. Zapata permanecieron aisladas del río, salvo en periodo de crecidas. La clorofila fue mayor en las lagunas que en el cauce principal del río Usumacinta, siendo la diferencia mucho mayor en las lagunas de Tenosique-E. Zapata que en Centla. La clorofila presentó una relación positiva con el fósforo, sugiriendo que este elemento puede limitar el crecimiento de las algas. Las concentraciones de nitratos fueron siempre mayores en el río que en las lagunas, sugiriendo procesos de transformación y asimilación por los productores primarios en el plano de inundación. El fósforo es transportado principalmente en forma particulada dado que el fósforo soluble presenta concentraciones muy bajas en relación al fósforo total. Esto sugiere una estrecha relación entre el fósforo y los sedimentos, por lo que el transporte de este elemento a lo largo del río y lateralmente hacia el plano de inundación depende de la conectividad longitudinal y lateral en la cuenca. La interacción entre el río Usumacinta y su plano de inundación puede favorecer la retención de nutrientes, su asimilación por los organismos autótrofos, y la producción del ecosistema.

Palabras clave: Nitrógeno, fósforo, plano de inundación

1 INTRODUCCIÓN

El régimen natural de caudal es un factor importante en el mantenimiento de la integridad de los ríos y arroyos ya que influye sobre la calidad del agua, las fuentes de energía, el hábitat físico y las interacciones bióticas (Poff et al., 1997). En los ríos con áreas inundables, el pulso de inundación es un componente del régimen natural de caudal que influye sobre el funcionamiento del ecosistema fluvial dado que modula la interacción entre el cauce principal y el plano de inundación (Wolfgang J. Junk, Bayley, & Sparks, 1989; Lewis, Hamilton, Lasi, Rodríguez, & Saunders, 2000; Montoya, Castillo, & Sánchez, 2011). Esta interacción determina los patrones de producción primaria acuática, descomposición de materia orgánica, transformaciones de nutrientes y deposición de sedimentos (Bayley, 1995; Hamilton & Lewis, 1987). Por lo que la condición trófica del plano de inundación va a depender de los materiales disueltos y suspendidos transportados por el río y que entran en el plano de



inundación (Junk & Wantzen, 2004). Además, el mantenimiento de esta conectividad lateral en la cuenca favorece la migración de organismos y el intercambio de materiales y energía entre el cauce principal del río y la planicie de inundación.

El río Usumacinta, después del río Mississippi, representa la segunda entrada de agua dulce más importante al Golfo de México, de manera que el arrastre de nutrientes por esta corriente puede tener una marcada influencia sobre los ambientes marino-costeros de la región. Además, el río presenta una extensa planicie de inundación en la parte baja de la cuenca, que incluye los Pantanos de Centla (March-Mifsut & Castro, 2010), y que probablemente, al igual que otros sistemas inundables, intercambia grandes volúmenes de agua y materiales con el cauce principal durante los pulsos de inundación, afectando los nutrientes, carbono y sedimentos transportados por el río (Lewis et al., 2000; Zurbrügg, Suter, Lehmann, Wehrli, & Senn, 2013). Con el fin de estudiar el efecto de la interacción entre el río y su plano de inundación, se planteó comparar las concentraciones de nutrientes y clorofila entre el cauce principal del río Usumacinta y lagunas del plano de inundación en dos zonas de la cuenca baja ubicadas en Centla y Tenosique-E. Zapata.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos en lagunas ubicadas en la cuenca baja del río Usumacinta en las zonas de Centla (Lagunas San Isidro, San Pedrito y La Puerta-Pajalar) y Tenosique-E. Zapata (Lagunas Canitzán y Nueva Esperanza) en marzo, junio y septiembre de 2015 para incluir las temporadas de secas, inicio de lluvias y lluvias. En cada laguna se ubicaron 3 puntos de muestreo para cubrir la heterogeneidad ambiental. También se muestreó el cauce principal del río Usumacinta a la altura de las lagunas. En cada punto se midió la profundidad de la columna del agua y la transparencia como profundidad del disco de Secchi. Con una sonda multiparamétrica se midieron conductividad, sólidos disueltos totales, salinidad, concentración de oxígeno disuelto, el porcentaje de saturación de oxígeno y pH. Se colectaron muestras de agua para analizar las concentraciones de fósforo (total y soluble), nitratos, y clorofila en el laboratorio siguiendo los métodos de APHA (2012).

3 RESULTADOS

Las lagunas de la zona Centla estuvieron conectadas permanentemente con el cauce principal del río Usumacinta, mientras que las lagunas Canitzán y Nueva Esperanza en la zona Tenosique-E. Zapata permanecieron aisladas durante el periodo de estudio. Las lagunas San Pedrito y la Puerta Pajalar ubicadas en Centla presentaron mayores valores de conductividad y salinidad que la laguna de San Isidro y las lagunas de la zona Tenosique-E. Zapata, particularmente en el mes de junio cuando se registraron valores de conductividad de 6500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y salinidad de 3.6 g/L en la laguna de San Pedrito, probablemente por efecto de las mareas. Las concentraciones de oxígeno disuelto estuvieron generalmente entre 4-6 mg/L en las lagunas de Centla mientras que en las lagunas de Tenosique-E. Zapata fueron más altas (7-11 mg/l) estando presentes condiciones de sobresaturación. Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron mayores en las lagunas que en el cauce principal del río Usumacinta.

La concentración de nitratos fue menor en las lagunas que en el río Usumacinta tanto en la temporada de secas (Figura 1) como en lluvias. Las concentraciones en las lagunas de Centla fueron mayores que en las lagunas de Canitzán y Nueva Esperanza.

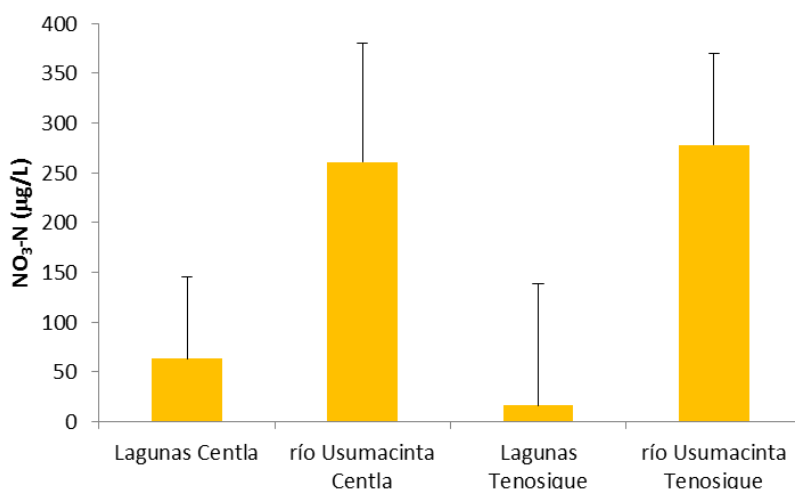


Figura 1. Concentración de nitratos en las lagunas de Centla y Tenosique-E. Zapata y en el cauce principal del río Usumacinta. Se muestra promedio y desviación estándar de las tres temporadas.

El fósforo soluble reactivo presentó concentraciones bajas (<12.4 µg/L) en el cauce principal del río Usumacinta representando menos del 20 % de la concentración de P total en las tres temporadas estudiadas (Figura 2). En las lagunas, se midieron en algunas ocasiones concentraciones más altas de fósforo soluble que en el cauce principal del río. Las lagunas de Tenosique siempre presentaron concentraciones de fósforo total más elevadas que en el río mientras que en las lagunas de Centla se presentó una variación estacional con mayores concentraciones en las lagunas en la temporada de secas.

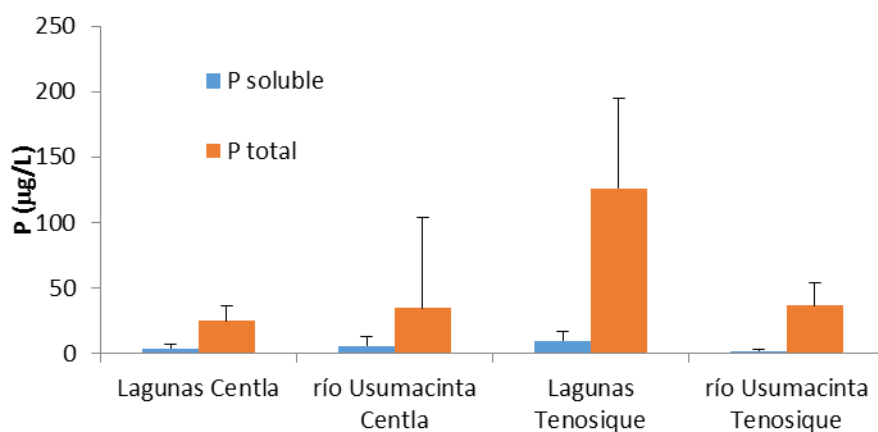


Figura 2. Concentraciones de fósforo soluble reactivo (P soluble) y fósforo total (P total) en las lagunas de Centla y Tenosique-E. Zapata y en el cauce principal del río Usumacinta. Se muestra promedio y desviación estándar de las tres temporadas.

Al igual que el fósforo, la clorofila fue mayor en las lagunas de Tenosique que en el cauce principal del río Usumacinta (Figura 3). En las lagunas de Centla, las concentraciones de clorofila fueron más altas que en el río Usumacinta en las temporadas de secas y lluvias (septiembre), disminuyendo al inicio de

lluvias (junio). Se observó una correlación positiva entre la concentración de fósforo total y la concentración de clorofila, la cual fue más marcada en las lagunas de Centla (Figura 4).

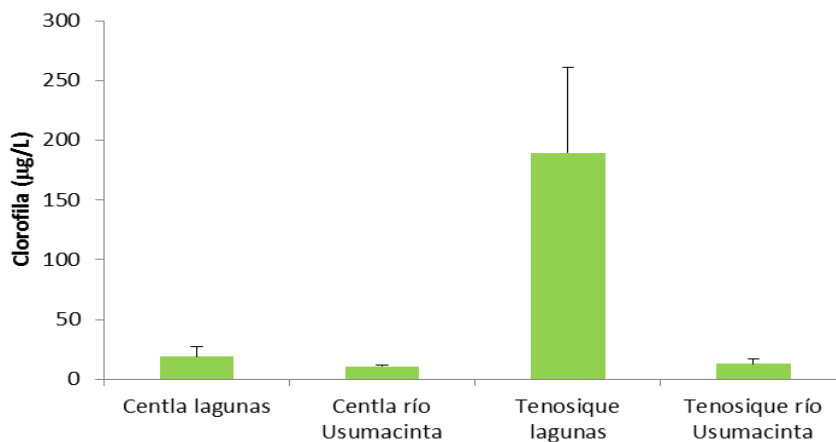


Figura 3. Concentración de clorofila *a* en las lagunas de Centla y Tenosique-E. Zapata y en el cauce principal del río Usumacinta. Se muestra promedio y desviación estándar de las tres temporadas.

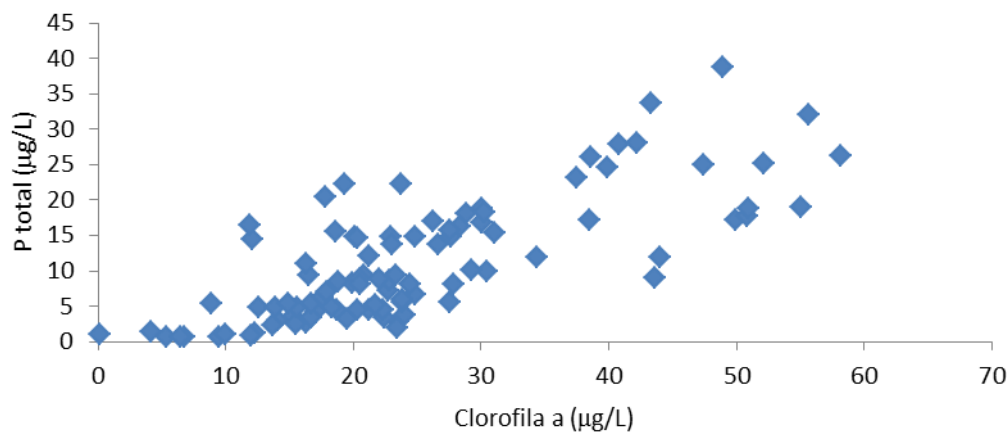


Figura 4. Relación entre las concentraciones de P total y clorofila en las lagunas de Centla.



4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La tendencia observada a una menor concentración de nitratos en las lagunas con respecto al río durante todo el periodo muestreado, puede estar asociado a la asimilación por plantas acuáticas y fitoplancton, considerando la mayor concentración de clorofila que con frecuencia se midió en las lagunas. Esta disminución también se observó en otros lagos de inundación tropicales y se ha relacionado con la asimilación por macrofitas acuáticas y fitoplancton (Hamilton & Lewis, 1987, Castillo, 2000). La mayor concentración de clorofila en las lagunas sugiere que estos cuerpos de agua son sitios importantes de producción de fitoplancton, que pueden tener impacto sobre las redes tróficas como se ha evidenciado en otros sistemas inundables tropicales (Lewis et al., 2000; Melack & Forsberg, 2001).

Las bajas concentraciones de fósforo soluble en relación al fósforo total indica que este elemento es transportado principalmente en forma particulada. Esto sugiere una estrecha relación entre el fósforo y los sedimentos, los cuales en la temporada de lluvias entran a las lagunas y se depositan en el fondo, y en la temporada de secas, son probablemente resuspendidos y el fósforo es aprovechado por la biota como se ha observado en otros lagos de inundación tropicales (Hamilton y Lewis, 1987). Diferencias en la estacionalidad en las concentraciones de P entre las lagunas de Tenosique y Centla pueden deberse al grado de conexión con el río Usumacinta, dado que las lagunas de Centla están permanentemente conectadas al río las concentraciones de fósforo pueden verse más afectadas por el arrastre de este elemento por el río Usumacinta. La baja concentración de fósforo soluble y la relación entre clorofila y P total sugieren que este elemento puede estar limitando la producción primaria acuática. Se conoce que el fósforo es con frecuencia un elemento limitante en los ecosistemas acuáticos y su exceso está asociado a procesos de eutrofización (Schindler, 2006).

La interacción entre el río Usumacinta con su plano de inundación permite la entrada de nutrientes que pueden ser asimilados por el fitoplancton y la vegetación acuática en las lagunas de inundación. Esta interacción además puede favorecer la retención de nutrientes en el plano de inundación, los cuales se pueden depositar en el fondo o entrar en las tramas tróficas. Para que estos procesos ocurran es necesario que exista conectividad tanto longitudinal como lateral en la cuenca. La conectividad longitudinal favorece el transporte de material particulado desde las partes altas a las partes bajas de la cuenca y la conectividad lateral permite que los nutrientes entren al plano de inundación favoreciendo la producción biológica. Cualquier alteración del régimen natural del caudal y del cauce en la cuenca del río Usumacinta puede interferir con estos procesos y tener consecuencias para la productividad del ecosistema.

5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio formó parte del proyecto “Caracterización y Diagnóstico ambiental de la subcuenca del río Usumacinta” financiado por la Comisión Federal de Electricidad. Le agradecemos a Pablo Álvarez y Habacuc Lorenzo por el apoyo en el trabajo de campo y análisis de laboratorio.

6. LITERATURA CITADA

- A.P.H.A (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22a ed. A.P.H.A., Washington D.C.
- Bayley, P. B. (1995). Understanding Large River: Floodplain Ecosystems. *BioScience*, 45(3), 153-158.
- Castillo, M. M. (2000). Influence of hydrological seasonality on bacterioplankton in two



neotropical floodplain lakes. *Hydrobiologia*, 437, 57-69. doi:10.1023/A:1026598123694

- Hamilton, S. K., & Lewis, W. M. J. (1987). Causes of seasonality in the chemistry of a lake on the Orinoco River floodplain, Venezuela. *Limnology and Oceanography*, 32(6), 1277-1290. doi:10.4319/lo.1987.32.6.1277
- Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 106, 127 pp.
- Junk, W. J., & Wantzen, K. M. (2004). The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications - an update. *Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries*, 117-149.
- Lewis, W. M., Hamilton, S. K., Lasi, M. a., Rodríguez, M., & Saunders, J. F. (2000). Ecological Determinism on the Orinoco Floodplain. *BioScience*, 50(8), 681. doi:10.1641/0006-3568(2000)050[0681:EDOTOF]2.0.CO;2
- March-Mifsut, I., & Castro, M. (2010). La cuenca del Río Usumacinta: Perfil y perspectivas para su conservación y desarrollo sustentable. *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización.*, 232. Recuperado a partir de https://www.academia.edu/5713552/La_Cuenca_del_Rio_Usumacinta_Perfil_y_perspectivas_para_su_conservacion_y Desarrrollo_Sustentable._IN_EXTENSO
- Melack, J. M., & Forsberg, B. R. (2001). The Biogeochemistry of the Amazon Floodplain Lakes and Associated Wetlands. En *The Biogeochemistry of the Amazon Basin and its Role in a Changing World* (pp. 235-276).
- Montoya, J. V., Castillo, M. M., & Sánchez, L. (2011). La importancia de las inundaciones periódicas para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas inundables de grandes ríos tropicales: Estudios en la cuenca del orinoco. *Interciencia*, 36(12), 900-907.
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, James R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., ... Stromberg, J. (1997). The Natural Flow Regime. *BioScience*, 47(11), 769-784.
- Schindler, D. W. (2006). Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography*, 51(1_part_2), 356-363. doi:10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0356
- Zurbrugg, R., Suter, S., Lehmann, M. F., Wehrli, B., & Senn, D. B. (2013). Organic carbon and nitrogen export from a tropical dam-impacted floodplain system. *Biogeosciences*, 10, 23-38. doi:10.5194/bg-10-23-2013



Extenso ID: 51. Camacho-Valdez Vera^a, Saenz-Arroyo María Andrea^b, Rodiles-Hernández María del Rocío^b, Navarrete-Gutierrez Darío^b. VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN HUMEDALES. CASO ESTUDIO: DELTA DEL USUMACINTA, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

^aConacyt-El Colegio de la Frontera Sur, Periférico Sur s/n, María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, email: vcamacho@ecosur.mx

^bEl Colegio de la Frontera Sur, Periférico Sur s/n, María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, email: msaenz@ecosur.mx, rrodiles@ecosur.mx, dnavarre@ecosur.mx

RESUMEN

En este estudio se investigaron los valores económicos que se derivan de los servicios ecosistémicos proporcionados por los humedales del Delta del Usumacinta. Se encontró un valor económico de al menos 16 mil millones de dólares (2007) que fue proporcionado a los habitantes de esta región. Esto implica que cada año los servicios ecosistémicos suministrados por los humedales tienen una importante contribución al bienestar de las comunidades del Delta del Usumacinta y que en caso de que estos ecosistemas se vieran alterados por futuros cambios de uso de suelo, esto podría tener impactos significativos en el suministro de los servicios ecosistémicos y por ende en la economía de las comunidades locales.

Palabras clave: servicios ecosistémicos, humedales, valoración, Delta Usumacinta, análisis espacial

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de servicio ecosistémico empieza a gestarse en las décadas de 1960 y 1970, a raíz de la denuncia de los efectos negativos de la contaminación, la deforestación de bosques, tropicales particularmente, la reducción de la capa de ozono, el colapso de algunas de las más importantes pesquerías de especies pelágicas y el cambio en el clima (Carson 1962; Saville y Bayley 1980; Farman et al. 1985). Este concepto surge como esquema para estructurar y sintetizar conocimiento biofísico en términos de bienestar humano. En la última década, desde la publicación de la *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio* (MEA, 2005), el número de publicaciones con respecto al estudio de los servicios ecosistémicos ha aumentado de manera significativa convirtiéndose en un área importante de investigación (Fisher et al. 2009). Tener conocimiento de los ecosistemas desde la perspectiva de los seres humanos como beneficiarios tiene un enorme potencial para la protección de los ecosistemas y los servicios que proporcionan (Bass 2006).

Debido a que las cuencas conectan e integran ecosistemas tanto terrestres como de agua dulce y costeros, ellas proporcionan una variedad de valiosos servicios ecosistémicos, entre los que destacan, purificación de agua dulce, la provisión de hábitat para la pesca y la diversidad biológica, el secuestro de carbono que ayuda a mitigar el cambio climático, y el apoyo para la recreación y el turismo, entre otros (Postel y Barton 2005). En gran parte del mundo, la conversión y modificación de los ecosistemas que constituyen las cuencas hidrográficas ha ido en aumento (Revenga et al. 1998). Esto ha provocado una reducción en los beneficios netos que la sociedad obtiene de las cuencas, además de consecuencias ambientales a nivel local, regional y global.

En parte, como respuesta a esta situación, es necesario que la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos asociados no sean tratados como bienes inagotables, y su verdadero valor para la



sociedad así como los costos de su pérdida o degradación, sean tomados en cuenta de una manera adecuada (Costanza et al. 1997; Blignaut y Moolman 2006; TEEB in Policy 2011). La importancia que tienen los ecosistemas con respecto a la sociedad humana puede verse desde muchas dimensiones: ecológicas, socioculturales y económicas. Sin embargo, expresar el valor de los servicios ecosistémicos en unidades monetarias es una herramienta importante para dar a conocer y transmitir la importancia de los ecosistemas y la biodiversidad a los tomadores de decisiones. La información con respecto a los valores monetarios permite un uso más eficiente de los recursos a través de la identificación de áreas en donde la protección o restauración es económicamente más viable (Crossman y Bryan 2009; Crossman et al. 2011).

De manera complementaria al análisis económico, en los últimos años se ha introducido el análisis espacial como herramienta para representar el valor económico de los servicios ecosistémicos. Información basada en mapas ha sido utilizada para analizar la distribución espacial de múltiples servicios ecosistémicos a escalas locales (Lautenbach et al. 2011), regionales (Chan et al. 2006) y globales (Naidoo et al. 2006). De hecho la naturaleza variable en el espacio de la generación de los servicios ecosistémicos y los flujos de valor hacen que la representación en mapas para efectos de planificación esté siendo más importante y se considere una de las principales herramientas para la toma de decisiones en cuanto a la planeación ambiental.

En México, la cuenca del río Usumacinta es considerada uno de los territorios con la más alta diversidad biológica y cultural (Toledo 2003). Las funciones ecológicas que se llevan a cabo en esta cuenca, se mantienen a través de una diversidad de ecosistemas, entre los que destacan, ríos, sistemas lagunares, extensos bosques de manglar, masas forestales selváticas y boscosas, y recursos marinos de la plataforma continental. Estos ecosistemas son igualmente relevantes a nivel social, ya que, proporcionan servicios ecosistémicos a las comunidades de esta región, muchos de los cuales son fundamentales para el bienestar de las poblaciones que habitan la cuenca.

A pesar de que actualmente hay un reconocimiento de la importancia ecológica y cultural de la cuenca del río Usumacinta, los ecosistemas que la constituyen están bajo una fuerte presión antropogénica, resultado de las actividades humanas que conllevan cambios en el uso del suelo, como la conversión de humedales a tierras de cultivo, ganadería y zonas urbanas; la deforestación de los bosques; y la utilización de los recursos del subsuelo como los yacimientos de petróleo. Lo anterior ha dado como resultado la destrucción o modificación sustancial de los ecosistemas y una pérdida de biodiversidad, la cual, debilita el funcionamiento y por consecuencia amenaza la capacidad de los ecosistemas para suministrar servicios ecosistémicos a las poblaciones de la región.

Como una primera aproximación en la evaluación de los servicios ecosistémicos proporcionados por esta gran cuenca, el objetivo de esta investigación fue analizar espacialmente los ecosistemas que constituyen la parte baja de la cuenca, tomando ventaja del uso de la percepción remota y los sistemas de información geográfica (SIG) y conjuntamente con la aplicación del método de transferencia de valores, estimar valores de referencias de los servicios ecosistémicos que de ellos se derivan.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque metodológico que se propuso en esta investigación, dándole prioridad a la limitante de la falta de información con respecto a valores económicos, es el esquema de transferencia de valor espacial. En este esquema se combinan el método de transferencia de valores y los SIG para generar mapas de valores que permiten visualizar un patrón espacial y la distribución de elementos en el paisaje de importancia ecológica dentro del Delta de la cuenca del río Usumacinta. Este esquema incluye los siguientes pasos: 1) clasificación de los ecosistemas; 2) meta-análisis de la literatura de

valoración y la estimación del valor de los servicios ecosistémicos basados en un esquema de transferencia de valores; y 3) análisis espacial (Figura 1).

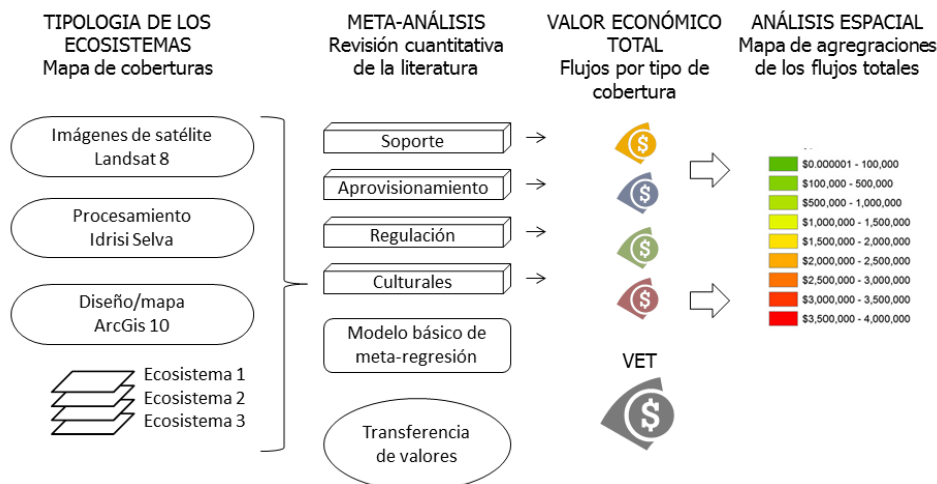


Figura 1. Diagrama de flujo de la evaluación de los servicios ecosistémicos. (VET: Valor económico total).

Delimitación del Delta del Usumacinta (DU) y clasificación de los ecosistemas

La delimitación del delta formado por los ecosistemas fluvio-lagunar- deltaicos, que corresponde a la porción baja de la cuenca del río Usumacinta, Laguna de Términos en Campeche y la parte baja de la cuenca del río Grijalva, se realizó con ayuda de la información obtenida del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) que junto con pulsos LIDAR (*Light Detection and Ranging*) con una resolución espacial de 5 m y un cubrimiento de superficie de 6,039 ha, nos permitieron la construcción de un modelo de superficie del terreno y un modelo digital de elevación. Los valores de alturas para esta zona oscilaron entre -0.85 y 59.99 m. A partir del modelo digital de elevación, se derivó la capa de drenaje obteniendo así una red hídrica con todos los afluentes relacionados. Se utilizó el modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) desarrollado por el Departamento de Agricultura (USDA-ARS) y la Estación Experimental de Agricultura en Texas. Este modelo nos permitió la delimitación automática de las subcuencas hidrográficas basado en el modelo digital de elevaciones previamente obtenido mediante los pulsos LIDAR. La delimitación del DU se realizó considerando los siguientes procesos metodológicos: a) determinación de la dirección de flujo; b) acumulación de flujo y; c) delimitación de cuencas.

Una vez obtenida la delimitación del DU, los datos utilizados para identificar la distribución de los tipos de humedales y usos de suelo presentes en el complejo, se obtuvieron a través de imágenes de satélite del sensor Landsat 8 OLI (path/row: 21/47; 22/47) adquiridas en mayo del 2013. Estas imágenes disponen de lecturas de once canales o bandas, situadas en distintas zonas del espectro electromagnético y tienen una resolución de 30 metros. Los programas Idrisi Selva y ArcGis 10 se utilizaron para la clasificación de las imágenes, el desarrollo del SIG y para producir el mapa de los tipos de cobertura.

La clasificación estuvo basada en el método propuesto por Paniagua et al. (2011), en el cual, se presenta una metodología de clasificación híbrida de coberturas, es decir, se integra una clasificación digital de imágenes de satélite con fotointerpretación. Previo a la clasificación se llevó a cabo la



corrección atmosférica de las imágenes, utilizando el módulo AtmosC del programa Idrisi Selva. Una vez corregidas las imágenes, se seleccionaron campos de entrenamiento mediante segmentación de imágenes. En la cual, no solo se toma el valor espectral del pixel individual, sino que se compara valores de pixeles vecinos, para definir estructuras de forma, tono, etc.

La clasificación digital se realizó utilizando el método supervisado, el cual utilizó los campos de entrenamiento previamente digitalizados con el fin de extraer una firma espectral de cada una de las clases seleccionadas (Campbell 1996). Estas firmas nos sirvieron de patrón para que a través de un algoritmo de clasificación se clasificara el resto de los pixeles de la imagen. El algoritmo de clasificación utilizado fue el de Máxima Verosimilitud disponible en el programa Idrisi Selva, el cual separa las clases con base en una función de densidad de probabilidad, asociada a la firma correspondiente a un campo de entrenamiento en particular. Los pixeles se asignan a la clase donde la probabilidad de pertenencia es mayor, dada la información específica de las firmas consideradas. Este método no solo considera los valores promedio, sino también la variabilidad de los valores de brillantez en cada clase (Campbell 1996).

La validación se evaluó a través de matrices de error, las cuales, permiten valorar la exactitud individual de cada clase y la exactitud total de la clasificación. La matriz se construyó para todos los pixeles del mapa temático por la tabulación cruzada (crosstab) de éste con datos de referencia o prueba. Las coincidencias entre los dos conjuntos de datos (diagonal principal) se utilizaron para estimar la exactitud total (%). El índice de Kappa (K') se utilizó como medida de correspondencia entre la clasificación y los datos de referencia a nivel del paisaje (Congalton y Green 1999).

Definición de los servicios ecosistémicos y meta-análisis de la literatura de valoración

Aunque existen diferentes enfoques para la clasificación de los servicios ecosistémicos (Camacho-Valdez y Ruiz-Luna 2012), en esta investigación se siguió el marco ampliamente aceptado propuesto por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA 2005). Esta evaluación clasifica los servicios ecosistémicos en servicios de aprovisionamiento, regulación, soporte y servicios culturales.

Los servicios ecosistémicos derivados de cada tipo de humedal se identificaron sobre la base de referencias de estudios empíricos, principalmente a partir de las bases de datos proporcionadas por Ghermandi et al. (2010) y Van der Ploeg et al. (2010). Este conjunto de datos se utilizó también como punto de partida para llevar a cabo el meta-análisis y con esto validar y aplicar el método de transferencia de valores. Para seleccionar los estudios de las bases de datos originales e ir generando nuestra base de datos para los humedales presentes en el Delta de la cuenca del río Usumacinta se desarrollaron distintos criterios. El primero de estos criterios fue seleccionar únicamente los humedales que estuvieran presentes en nuestro caso de estudio. El segundo, la literatura incluida en el análisis consistió en publicaciones, libros y reportes. Para el caso de la base de datos generada por Van der Ploeg et al. (2010), se seleccionaron estudios únicamente del 2005 a la fecha, los cuales, estuvieran considerados en la investigación “TEEB-The Economics and Ecosystem Biodiversity” (2010). Adicionalmente, se incluyeron en la base de datos únicamente estudios primarios; estudios en donde se utilizara el método de transferencia de valores no fueron considerados.

Se generó una base de datos en donde se incluyó el servicio ecosistémico y tipo de humedal valorado, método de valoración, año de estudio, ubicación geográfica y la estimación del valor por hectárea, entre otros atributos. Consecutivamente se hizo un análisis exploratorio de los datos, utilizando estadística descriptiva. Para permitir estas comparaciones entre los valores de los humedales que han sido calculados en diferentes años y expresados en diferentes monedas y medidas los datos se estandarizaron a una medida y moneda común. Tomando en cuenta a Ghermandi et al. (2010) los valores fueron estandarizados a dólares estadounidense del 2007 por hectárea por año.

Valoración de los servicios ecosistémicos

Se aplicó el método de transferencia de valores con el objetivo de predecir los valores de los servicios ecosistémicos asociados a cada tipo de ecosistema previamente definidos en la tipología. La transferencia de valores implica simplemente transferir el valor (es) estimado (s) en uno o más estudios primarios (bases de datos) al sitio de interés. Como se recomienda en la literatura, todos los resultados presentados representarán la media estadística derivada de las estimaciones individuales del valor de los servicios ecosistémicos, expresados en dólares por hectárea por año (Costanza et al. 1997; Wilson et al. 2004). La utilidad de este método es que puede aplicarse en una escala que es inviable para un estudio primario en términos de valorar un gran número de sitios en diferentes regiones, como es el caso de la cuenca del río Usumacinta.

Valor económico total

Una vez que el mapa temático se diseñó, a cada tipo de ecosistema se le asignó un valor derivado del método de transferencia de valores, permitiendo que los valores de los servicios ecosistémicos fueran representados por tipo de servicio y ecosistema. El valor total de los servicios ecosistémicos representados para cada tipo de cobertura se obtuvo multiplicando el valor estimado del área (ha) de cada clase de ecosistema por el coeficiente de valor (\$/ha/año) para cada servicio ecosistémico asociado a cada entidad con la siguiente formula:

$$V(ES_i) = \sum_{k=1}^n A(LU_i) \times V(ES_{ki})$$

Donde:

$A(LU_i)$ = área del tipo de cobertura (i)

$V(ES_{ki})$ = valor anual por unidad de área para tipos de servicios ecosistémicos (k) generado por tipo de cobertura o entidad (i)

Análisis espacial

Las estimaciones de valor se representaron espacialmente en el Delta de la cuenca del río Usumacinta mostrando el flujo anual de los servicios ecosistémicos proporcionados por cada tipo de ecosistema. Los análisis y los mapas se generaron con el programa ArcGis 10, utilizando los mapas temáticos previamente diseñados.

3. RESULTADOS

Clasificación de los ecosistemas

El proceso de clasificación para las escenas Landsat se llevó a cabo en un polígono con un área de aproximadamente 1,678,766 ha. Dicho proceso dio lugar a ocho clases informacionales que corresponden a áreas urbanas, agricultura, cinco clases de humedales (lagunas costera, manglar, fluvial, palustre y lacustre) y el resto que corresponde a coberturas terrestres (Figura 2). La estructura espacial de los tipos de humedales y usos de suelo fue aceptada después de un proceso de validación basado en puntos de referencia, alcanzando una exactitud global de 86 % y un índice de K' de 0.85, lo cual, demuestra estadísticamente que la clasificación obtenida es mejor que una producida al azar.

De los humedales, los palustres fueron los mejor representados, cubriendo el 33% de la superficie total del área de estudio, mientras que en los usos de suelo, fue la agricultura con 356,550 ha (21%). Después de los sistemas palustres, las lagunas costeras fueron los humedales más importantes en

términos de cobertura (207,891 ha), representando el 23% de la superficie de humedales. Los manglares, sistemas lacustres y fluviales presentaron menores superficies (Tabla 1).

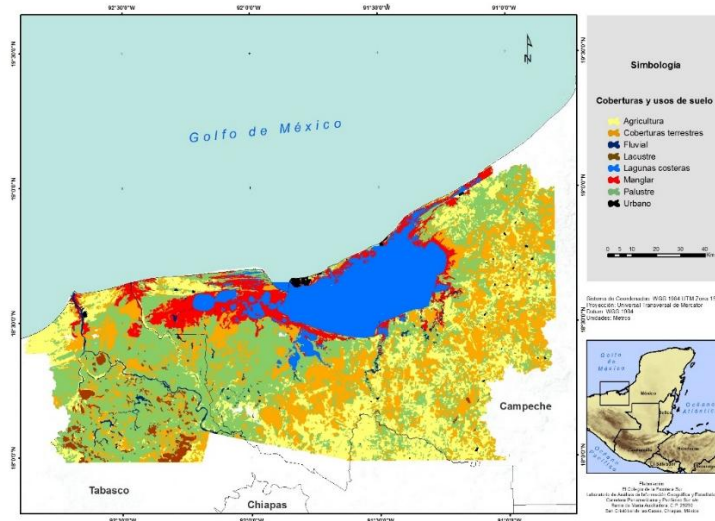


Figura 2. Clasificación de humedales y usos de suelo presentes en el CFLD de la cuenca del río Usumacinta

Tabla 1. Clases de humedales y usos de suelo en el Delta de la cuenca del río Usumacinta obtenidas mediante la clasificación de imágenes Landsat y digitalización de datos auxiliares.

ID	Clase	Descripción	Área		Área de humedal
			ha	%	%
1	Lagunas costeras	Humedales estuarinos submareales	207,891	12	23
2	Manglar	Humedales estuarinos intermareales conformados por la asociación de especies de mangle	101,969	6	11
3	Fluvial	Humedales continentales fluviales permanentes y estacionales: ríos y canales	18,102	1	2
4	Palustre	Humedales continentales palustres: pantano, tular, popal, llanura inundada	553,653	33	61
5	Lacustre	Humedales continentales lacustres permanentes y estacionales: lago, charca, cuerpo de agua	26,288	2	3
6	Coberturas terrestres	Vegetación natural: selvas, vegetación secundaria, etc.	403,387	24	
7	Agricultura	Coberturas inducidas: agrícola, pecuario y pastizal	356,550	21	
8	Urbano	Áreas urbanas: poblados, ciudades, etc.	10,926	1	

Meta-análisis de la literatura de valoración

De las bases de datos originales, se obtuvieron 213 observaciones independientes de 103 estudios relacionados con la valoración económica de los servicios ecosistémicos en humedales. La mayoría de los reportes de valoración provienen de localidades de Asia (71), Norteamérica (48), Europa (42) y África (31), aunque los 5 continentes están representados, incluidos también reportes de Sudamérica (15) y Australia (6). La mayoría de los humedales en el conjunto de datos se relaciona con estudios en manglares (91) y sistemas fluviales (69); mientras que en menor proporción en sistemas palustres (39), lacustres, (29) y lagunas costeras (15). Al menos un valor de servicio ecosistémico se encontró para cada uno de los tipos de humedales, divididos estos siguiendo la clasificación de ecosistemas del milenio (MEA, 2005) con cuatro categorías: aprovisionamiento, regulación, soporte y culturales (Tabla 2). De estos, los más estudiados en la literatura son los servicios de aprovisionamiento (135), como el soporte de pesquerías y cosecha de materiales naturales. En los servicios de regulación destaca el de protección contra inundaciones y tormentas (30) y en los de soporte y culturales, biodiversidad y actividades recreacionales (ambos con 20), respectivamente. Los métodos comúnmente utilizados en la literatura fueron precios de mercado (72), costo de reemplazo (46), valoración contingente (41) y factor de ingresos netos (32); mientras que los menos representados fueron método de costo de viaje (18), función de producción (9), valor de opción (9) y costo de oportunidad (5).

Tabla 2. Servicios ecosistémicos y número de observaciones por cada tipo de humedal

	Laguna costera	Manglar	Fluvial	Palustre	Lacustre	Total SE
Servicios de aprovisionamiento	7	72	29	19	8	135
Soporte de pesquería	3	30	11	9	4	57
Abastecimiento de agua	1	1	8	6	2	18
Cosecha de materiales naturales	3	23	9	2	2	39
Combustible		18	1	1		20
Recurso ornamental				1		1
Servicios de regulación	3	10	22	11	1	47
Control del clima		1				1
Protección contra inundaciones y tormentas	3	9	14	3	1	30
Mejoramiento de la calidad del agua			8	8		16
Servicios de soporte	0	5	10	4	2	21
Patrimonio genético				1		1
Biodiversidad		5	10	3	2	20
Servicios culturales	5	4	8	5	18	40
Paisaje y vista escénica	1		1		7	9
Actividades recreacionales	1	3	5	4	7	20
Pesca y caza recreacional	3	1	2	1	4	11
Total	15	91	69	39	29	243

Valoración de los servicios ecosistémicos

Después de realizar la estimación econométrica del modelo de meta-regresión, se aplicó el método de transferencia de valores para predecir los valores de los servicios ecosistémicos asociados a cada tipo de humedal en la zona de estudio (Tabla 3). Los resultados muestran que el sistema fluvial es la cobertura con el valor promedio anual más alto con \$56,122 dólares por hectárea por año. Este valor se debe a la contribución del servicio ecosistémico protección contra inundaciones y tormentas. El manglar, el sistema palustre y lacustre también contribuyen significativamente al análisis de valoración con un promedio de \$12,470, \$24,035 y \$8,533 dólares por hectárea por año, respectivamente. Las lagunas costeras son los humedales con el menor valor promedio con \$4,755 dólares por hectárea por año.

Los valores totales de los servicios ecosistémicos revelan una considerable variabilidad (Tabla 3). Protección contra inundaciones y tormentas es el servicio de los ecosistemas con el valor más alto (\$42,436 dólares por hectárea por año), seguido del de actividades recreacionales y biodiversidad (\$15,880 y \$14,156 dólares por hectárea por año, respectivamente). El servicio de control del clima es el menos valorado (\$7 dólares por hectárea por año). En general, los servicios de regulación y los culturales son los más valorados en la base de datos adaptada.

Tabla 3. Valor anual (2007\$/ha/año) de los servicios ecosistémicos por cada tipo de humedal.

	Manglar	Laguna costera	Palustre	Fluvial	Lacustre	Valor/SE
Servicios de aprovisionamiento	3,972	790	5,346	7,464	899	18,471
Soporte de pesquería	2,826	326	637	5,187	868	9,844
Abastecimiento de agua	683	3	1,217	1,382	24	3,309
Cosecha de materiales naturales	250	461	3,353	715	8	4,787
Combustible	212		26	180		418
Recurso ornamental			114			114
Servicios de regulación	2,225	130	6,247	39,669	23	48,294
Control del clima	7					7
Protección contra inundaciones y tormentas	2,218	130	2,371	37,694	23	42,436
Mejoramiento de la calidad del agua			3,876	1,975		5,851
Servicios de soporte	5,773	0	208	3,837	4,369	14,187
Patrimonio genético			31			31
Biodiversidad	5,773		177	3,837	4,369	14,156
Servicios culturales	501	3,835	12,235	5,152	3,241	24,964
Paisaje y vista escénica		460		3,291	1,295	5,046



Actividades recreacionales	472	151	12,198	1,202	1,857	15,880
Pesca y caza recreacional	28	3,224	37	658	89	4,036
Valor anual	12,470	4,755	24,035	56,122	8,533	105,916

El flujo anual del valor de los servicios ecosistémicos por cada tipo de humedal, derivado de cada valor de servicio ecosistémico por el área del tipo de humedal correspondiente (Tabla 4), nos da un total de más de \$16,000 millones de dólares por año. De todos los humedales incluidos en el análisis, el sistema palustre es el que aporta el mayor flujo anual (\$13,307 millones de dólares por año), debido a su alta representación en términos de cobertura con respecto al área total de la zona de estudio (33%) y a su valor significativamente alto. Los sistemas estuarinos (lagunas costeras y manglar) junto con el fluvial tienen una aportación importante al valor económico total con alrededor de \$3,275 millones de dólares por año, mientras que el sistema lacustre, es la clase que menor aportación tiene al total (\$224 millones de dólares por año).

Tabla 4. Flujo anual (2007\$/ha/año) de los servicios ecosistémicos por cada tipo de humedal.

Clase	Valor anual de los SE (2007\$/ha/año)	Área (ha)	Flujo anual (2007\$/año)
Laguna costera	4,755	207,891	988,519,565
Manglar	12,470	101,969	1,271,547,943
Fluvial	56,122	18,102	1,015,928,862
Palustre	24,035	553,653	13,307,060,671
Lacustre	8,533	26,288	224,317,125
Total		907,903	16,807,374,167

Análisis espacial del flujo de valor

Una vez obtenido el flujo anual del valor de los servicios ecosistémicos por cada tipo de humedal, se diseñó un mapa ilustrando la distribución espacial de dichos flujos. Para fines de representación estos flujos fueron agregados en una cuadrícula de 100 ha (Figura 3). De manera general, este mapa muestra cierto grado de heterogeneidad en la distribución espacial de los valores, en donde los valores más altos se concentran en los cauces de los ríos y en la parte oeste del área de estudio; mientras que los más bajos se concentran en la parte este del área y bordeando la Laguna de Términos. La parte más representativa a nivel espacial es la zona de pantanos o humedales palustres, los cuales además de ser importantes en términos superficies también los son en términos de suministro de servicios ecosistémicos y de valor económico.

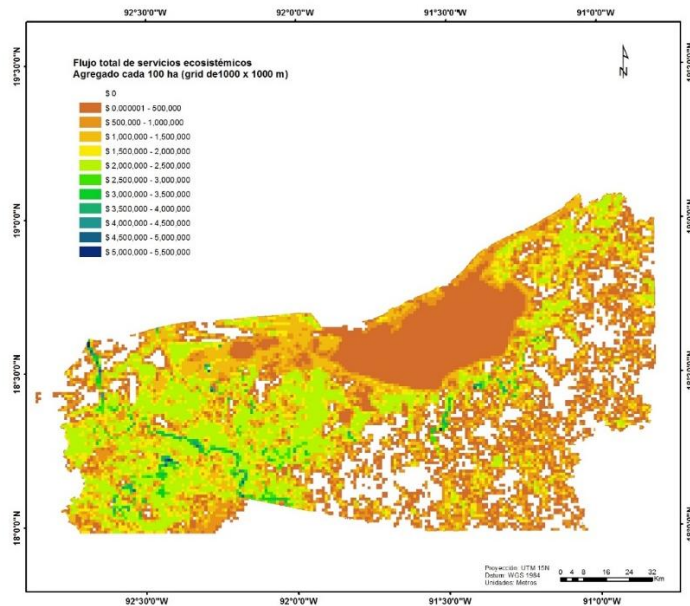


Figure 3. Flujo total del valor de los servicios ecosistémicos agregados cada 100 hectáreas

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Gracias al rápido desarrollo de la tecnología relacionada con la percepción remota y los SIG, la disponibilidad de datos espaciales se ha incrementado significativamente durante la última década (Hou et al. 2013). Si bien, hay debates respecto a la exactitud de los mapas de cobertura y uso de suelo derivados de la clasificación de imágenes satélite (Álvarez-Martínez et al. 2010). En muchos casos, estas herramientas espaciales pueden ser la única forma económicamente viable para reunir información regular sobre los usos de suelo (Verstraete et al. 1996). De hecho, la generación de mapas con una alta resolución es costosa, e incluso los mapas con mayor detalle suelen tener discrepancias a nivel local (Maes et al. 2011). En este contexto, la presente investigación tomó ventaja del uso de imágenes de satélite Landsat y SIG para analizar la distribución de los humedales y usos de suelo del DU y posteriormente con la información espacial generada, evaluar el flujo de los servicios ecosistémicos en esta región.

Basándonos en las estimaciones de los servicios ecosistémicos obtenidas a través del esquema de transferencia de valor directa y siendo validado este proceso con la aplicación de un meta-análisis, se determinó que el valor económico total en el DU asciende a más de 16,000 millones de dólares anuales, destacando la zona oeste del área de estudio con la concentración de valores más alto, en donde los humedales fluviales y palustres son algunos de los humedales con mayor presencia. Este resultado tiene que ser tratado como una estimación conservadora debido que en la literatura revisada para llevar a cabo la transferencia de valores hay servicios ecosistémicos de cierto tipo de humedales que han sido más estudiados que otros. Por ejemplo, se encontró que los manglares y los ambientes fluviales son los humedales que con mayor frecuencia se evalúan, a diferencia de las lagunas costeras, humedal con menor representación en la literatura de valoración. Esta falta de datos no es exclusiva de esta investigación, varios autores han reportado dificultades en la integración de datos de valoración a partir de fuentes heterogéneas (Pendleton et al. 2007; Camacho-Valdez et al. 2013), destacando que si bien la literatura de valoración ha aumentado en los últimos años, ésta continúa sesgada a cierto tipo de servicios ecosistémicos y de humedales. Lo anterior resalta la necesidad de realizar nuevas investigaciones enfocadas a ciertos servicios ecosistémicos (e.g. recursos ornamentales, control del



clima y recursos genéticos) y humedales (e.g. lagunas costeras) que están actualmente poco estudiados en términos de valoración económica (De Groot et al. 2012), como es caso de la Laguna de Términos.

A pesar de estas limitaciones, los valores estimados en este trabajo ilustran qué equivalencia monetaria pueden tener los ecosistemas del DU en relación a los servicios que prestan; y representan además las estimaciones iniciales del costo que supondría para la sociedad en el caso de que estos ecosistemas se perdieran o se vieran modificados. Sin embargo, es necesario aclarar, como lo hacen de Groot et al. (2012) y Costanza et al. (2014), que expresar el valor en términos monetarios no sugiere que los valores necesariamente se deban utilizar como base para el establecimiento de precios y no significa que ellos puedan ser tratados como bienes privados que puedan ser comercializados en los mercados. La mayoría de los servicios estudiados aquí son bienes públicos que no pueden o no deberían ser privatizados. Necesariamente la valoración económica tendría que actuar como una poderosa forma de retroalimentación y como una herramienta para la reflexión, la cual, nos ayude a repensar nuestra relación con el entorno natural, alertándonos sobre las consecuencias de nuestras decisiones (TEEB-Foundation 2010). Por otra parte, las estimaciones de valor de una amplia gama de servicios ecosistémicos es un paso esencial para mejorar los incentivos y generar las inversiones necesarias para su conservación y uso sostenible, como por ejemplo los sistemas de pago por servicios ecosistémicos (Farley y Costanza 2010).

Cada alternativa que se elija con respecto a un ecosistema en el DU, ya sea conservarlo en su estado natural o convirtiéndolo a otro uso, va a tener implicaciones en términos de valores ganados o perdidos. La decisión en cuanto a qué uso darle a determinado ecosistema, sólo debe hacerse si las pérdidas y ganancias se analizan y evalúan correctamente; de ahí la importancia académica de este tipo de estudios, los cuales pueden servir de base en la planeación de políticas medio-ambientales.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Comisión Federal de Electricidad por el apoyo económico brindado para el desarrollo de esta investigación dentro del proyecto “Caracterización y diagnóstico ambiental de la subcuenca del río usumacinta” (Contrato no. 146006). A Vladimir Erives y Samuel Aguilar por el apoyo brindado para el procesamiento de las imágenes de satélite y el análisis espacial.

6. LITERATURA CITADA

- Álvarez-Martínez, J.M., Stoorvogel, J.J., Suárez-Seoane, S., de Luis Calabuig, E., 2010. Uncertainty analysis as a tool for refining land dynamics modelling on changing landscapes: a case study in a Spanish Natural Park. *Landscape Ecol.* 25, 1385-1404.
- Bass, S., 2006. Environment for the MDGS: an IIED briefing. London: IIED.
- Blignaut, J., Moolman, C., 2006. Quantifying the potential of restored natural capital to alleviate poverty and help conserve nature: a case study from South Africa. *J. Nat. Conserv.* 14, 237-248.
- Camacho-Valdez, V., Ruiz-Luna, A., 2012. Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Biociencias.* 1 (4), 3-15.
- Camacho-Valdez, V., Ruiz-Luna, A., Ghermandi A., Nunes P.A., 2013. Valuation of ecosystem services provided by coastal wetlands in northwest Mexico. *Ocean Coast. Manage.* 78, 1-11.
- Campbell, J.B., 1996. Introduction to Remote Sensing, second ed. Taylor and Francis, London.
- Carson, R., 1962. Silent spring. Boston, MA. Houghton Mifflin Company. 350 pp.
- Chan, K.M.A., Shaw, M.R., Cameron, D.R., Underwood, E.C., Daily G.C., 2006. Conservation planning for ecosystem services. *PLoS Biol.* 4, 2138-2152.
- Congalton, R.G., Green K., 1999. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, Lewis Publisher, USA.



- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R.S., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K.,..., et al., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387 (15), 253–260.
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I.,... et al., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Glob. Environ. Chang.* 26, 152–158.
- Crossman, N.D., Bryan B.A., 2009. Identifying cost-effective hotspots for restoring natural capital and enhancing landscape multi-functionality. *Ecol. Econ.* 68, 654–668.
- Crossman, N.D., Bryan, B.A., Summers, D.M., 2011. Carbon payments and low-cost conservation. *Conserv. Biol.* 25, 835–845.
- De Groot, R., Brander, L., Van Der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L.,...et al., 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosyst. Serv.* 1(1), 50–61.
- Do, T.N., Bennett, J., 2005. An economic valuation of wetlands in Vietnam's Mekong Delta: a case study of direct use values in Camau Province. *Asia Pacific School of Economics and Government, Environmental management and development. Occasional paper*, 5–8.
- Farley, J., Costanza, R., 2010. Payments for ecosystem services: from local to global. *Ecol. Econ.* 69, 2060–2068.
- Farman, J.C., Gardiner, B.G., Shanklin, J.D., 1985. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction. *Nature*. 315, 207–210.
- Fisher, B., Turner, K.R., Morling, P., 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecol. Econ.* 68, 643–653.
- Ghermandi, A., van den Bergh, J.C.J.M., Brander, L.M., de Groot, R.S., Nunes, P.A.L.D., 2010. Values of natural and human-made wetlands: a meta-analysis. *Water Resour. Res.* 46 (12).
- Hou, Y., Burkhard, B. & Müller, F., 2013. Uncertainties in landscape analysis and ecosystem service assessment. *J. Environ Manage.* 127 (supplement), 117–131.
- Lautenbach, S., Kugel, C., Lausch, A., Seppelt, R., 2011. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data. *Ecol. Indic.* 11, 676–687.
- Maes, J., Egoh, B., Willemen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schägner, J.P.,... et al., 2012. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosyst. Serv.* 1, 31–39.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, DC: World Resources Institute.
- Naidoo, R., Adamowicz, W.L., 2006. Modelling opportunity costs of conservation in transitional landscapes. *J. Soc. Conser. Biol.* 20 (2), 490–500.
- Paniagua-Ruiz I., Carranza-Sánchez, J., Ramírez, M.I., 2011. Método híbrido para la detección de cambios en la cubierta de suelo en áreas naturales protegidas. *Memorias de la XIX Reunión Nacional SELPER-México*. Morelia, Michoacán. Octubre de 2011.
- Pendleton, L., Atiyah, P., Moorthy, A., 2007. Is the non-market literature adequate to support coastal and marine management?. *Ocean Coast. Manage.* 50, 363–78.
- Postel, S.L., Barton, H., 2005. *Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services*. Natural Resources Forum. Vol. 29. No. 2. Blackwell Publishing, Ltd.
- Revenga, C., Murray, S., Abramovitz, J., Hammond, A., 1998. *Watersheds of the World*. World Resources Institute and Worldwatch Institute, Washington, D.C.
- TEEB-Foundations., 2010. In: Kumar, P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London, Washington.
- TEEB in Policy. 2011. In: ten Brink, P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity in National and International Policy Making*. Earthscan, London, Washington.



- Toledo, A., 2003. Ríos, costas, mares. Hacia un análisis integrado de las regiones hidrológicas de México. Instituto Nacional de Ecología.
- Van der Ploeg, S., Wang, Y., Gebre Weldmichael, T., de Groot, R.S., 2010. The TEEB Valuation Database – a searchable database of 1310 estimates of monetary values of ecosystem services. Foundation for Sustainable Development, Wageningen, The Netherlands.
- Verstraete, M.M., Pinty, B., Myneni, R.B., 1996. Potential and limitations of information extraction on the terrestrial biosphere from satellite remote sensing. *Rem. Sens. Environ.* 58, 201–214.
- Wilson, M., Troy, A., Costanza, R., 2004. The economic geography of ecosystem goods and services: revealing the monetary value of landscapes through transfer methods and Geographic Information Systems. In: Dietrich, M., Straaten, V.D. (Eds.), *Cultural Landscapes and Land Use*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 69–94.



Extenso ID: 7. Real-De-León, Elizabeth¹, Granados-Puerto, Silvia¹ y Valdés-Lozano, David S.¹.
BALANCE DE MATERIA EN LA CUENCA-CALETA XEL-HA Y OTRAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I. P. N. Unidad Mérida, Departamento Recursos del Mar. Km 6 Ant. Carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, México. Autor para correspondencia: dvaldes@mda.cinvestav.mx

Resumen

Con el finalidad de estimar el balance de carbono y otros materiales disueltos y suspendidos en la Caleta Xel-Ha se realizó un estudio en este cuerpo de agua ubicado en la costa del Mar Caribe de la Península de Yucatán en julio de 2015. Se tomaron muestras en superficie y en el fondo (a 2-3 m de profundidad) en 18 estaciones mediante botella Van Dorn y registros de Sistema Multiparámetro YSI 556 (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y potencial Redox). En las muestras transportadas al Cinvestav Mérida se analizó amonio, nitrito, nitrato, fosfato, silicato, sólidos suspendidos, clorofilas A, B y C, alcalinidad total y carbono inorgánico total. Los resultados mostraron que se da un comportamiento estuarino en esta caleta debido al aporte de agua dulce continental que aflora en manantiales que hay en su interior y que se va mezclando con el agua marina del Caribe que penetra por la boca permanente. Hay una estratificación de aguas superficiales de baja salinidad (15 ± 4) y alta concentración de nutrimentos (nitrato: $34 \pm 5 \mu\text{M}$) y aguas de fondo de mayor salinidad (26 ± 7). Se midió el flujo en la boca cada hora durante 24 horas, estimándose un flujo del agua superficial de $0.60 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ que sale al Mar Caribe con un balance neto de $2.39 \times 10^6 \text{ mol d}^{-1}$ de carbono inorgánico total y $13.8 \times 10^3 \text{ mol d}^{-1}$ de nitrato exportados por la caleta. Así mismo se estimó un tiempo de residencia del agua en la caleta de 1.2 días. Este balance se compara con los realizados en Celestún, Chelem, Rosada, Ría Lagartos y Nichupte.

Palabras clave: Agua subterránea, nutrientes, Caliza, carbono inorgánico

Abstract

The objective of this study was the assessment of the exported carbon and other materials in Caleta Xel-Ha located in the Caribbean Sea coast of the Yucatan Peninsula. Water sampling was made on July of 2015, at 18 sites of the caleta, at surface and bottom (2-3 m). With an YSI MPS were registered temperature, salinity, dissolved oxygen, pH and redox potential and samples were taken with a Van Dorn bottle. At the laboratory in Cinvestav Mérida were analyzed ammonium, nitrite, nitrate, phosphate, silicate, suspended solids, chlorophyll A, B and C, total alkalinity and total inorganic carbon. Results showed that Xel-Ha has an estuarine behavior because of the fresh water input from groundwater from the continent, water that mixes with the sea water from the Caribbean that comes through the permanent mouth. There is a surface water layer with low salinity (15 ± 4) and high nutrient



concentration (nitrate: $34 \pm 5 \mu\text{M}$) and a bottom water layer of higher salinity (26 ± 7). The water flux in the channel that connect with sea was measured every hour during 24 hours, the net surface water flux estimated was $0.60 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ that leaves to the Caribbean Sea carrying $2.39 \times 10^6 \text{ mol d}^{-1}$ total inorganic carbon and $13.8 \times 10^3 \text{ mol d}^{-1}$ nitrate exported by the caleta. The estimated residence time of the water was 1.2 days. The results are compared with the obtained in Celestún, Chelem, Rosada, Ría Lagartos and Nichupte

Key words: Groundwater, nutrients, limestone, inorganic carbon.

INTRODUCCION

La Caleta Xel-Ha, se encuentra en la Península de Yucatán en la costa del Mar Caribe, la cual se caracteriza por ser "cárstica", una extensa plataforma de carbonato de calcio con gran porosidad, por la que el flujo de agua dulce hacia la costa es subterránea, disolviendo gradualmente la roca caliza y dando lugar a depresiones y fracturas, lo cual se supone originó esta caleta y otras (Back y Hanshaw, 1970; Back et al, 1979; Hanshaw y Back, 1980). Por otro lado, la Península de Yucatán, por su desarrollo no planificado, es escenario de conflictos intersectoriales y problemas ambientales que empiezan a agudizarse y a generar conflictos de diversos tipos, derivados de afectaciones a los sistemas marinos, como la pérdida de cobertura de manglar, capturas pesqueras excesivas, erosión de playas, contaminación costera creciente, mareas rojas, blanqueamiento de corales, etc.

En la costa de Quintana Roo en general y en particular en la caleta Xel-Ha la calidad del agua y las condiciones ambientales generales, son factores importantes que inciden en su utilización por el hombre a través de actividades como el turismo. Estas actividades tienen el común denominador de modificar el sistema hidrológico rompiendo el equilibrio de los procesos de aporte-acumulación y procesamiento-exportación de nutrientes con cambios en la calidad de agua, la cual se refleja generalmente en forma de un aumento desproporcionado en la producción primaria y condiciones de hipoxia en las zonas costeras someras, originando menor calidad ambiental para un adecuado funcionamiento del ecosistema, conociéndose a este proceso como eutrofización (Herrera-Silveira et al 1998).

OBJETIVO

Hacer una estimación actual del presupuesto y balance de las características químicas más importantes de la columna de agua en la caleta Xel-Ha, principalmente el carbono, que establezca una línea base para determinar los posibles efectos de las actividades turísticas y otras como el cambio climático global.

Comparar este balance con los balances realizados en otros sistemas costeros de la Península de Yucatán: Celestún, Chelem, Rosada, Ría Lagartos y Nichupte.

METODOS

El área de estudio, la caleta Xel-Ha, está ubicada en la costa del Mar Caribe, en la Península de Yucatán, en el estado Mexicano de Quintana Roo, latitud 20.314° N, longitud 87.355° W. Es somera, con profundidades entre 2 y 3 m. Según estimaciones de Back et al (1979) su superficie es de 0.3 km. Tiene varios brazos que se internan hacia tierra, siendo el más extenso el sur, con 0.7 km de longitud. El clima de la zona es de acuerdo a García (2004) Aw_2 , Calido Sub-húmedo con lluvias en verano.

El área está concesionada a la empresa Xcaret para usarse como parque acuático recreativo y recibe cientos de turistas diariamente. Esta caleta es además un importante sitio de protección y reproducción de la especie *Strombus Gigas*, molusco muy apreciado por los pescadores (Peel, 2010).

El muestreo de la caleta se realizó en julio de 2015. Se seleccionaron 18 puntos distribuidos desde la boca que comunica con el Mar Caribe hasta el interior de cada uno de los brazos, norte oeste y sur, basándose en las posibles entradas de agua dulce continental y fuentes de nutrimentos por las actividades del parque Xel-Ha. La figura No. 1 muestra los sitios de muestreo.

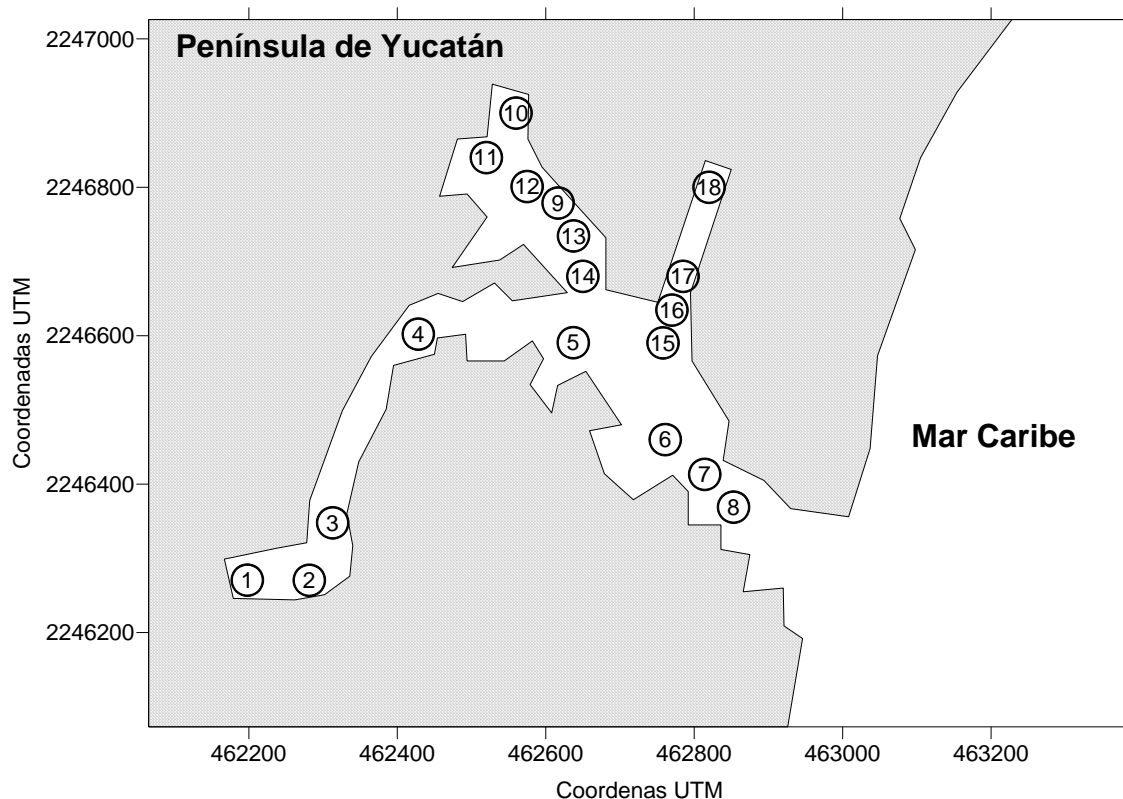


Fig. 1. Mapa de las estaciones de muestreo en la caleta Xel-Ha.



Se tomaron muestras de agua en superficie y en el fondo mediante botella Van Dorn, las cuales se filtraron inmediatamente con filtros de microfibras de vidrio GF/C para la cuantificación de sólidos suspendidos y clorofilas A, B y C. Mediante un equipo portátil de Sistema Multiparámetro YSI 556 se registraron temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, pH y potencial Redox en cada estación en superficie y fondo. En las muestras transportadas al Cinvestav Mérida se analizaron amonio, nitrito, nitrato, fosfatos y silicatos mediante las técnicas colorimétricas descritas por Strickland y Parsons (1972) y por Parsons et al (1984). Los sólidos suspendidos se cuantificaron gravimétricamente y las clorofilas A, B y C se estimaron extrayendo con acetona los filtros GF/C y leyendo absorbancia en espectrofotómetro (Stirling, 1985). Se determinó la concentración de calcio y magnesio mediante titulación con EDTA (APHA et al, 1985). La alcalinidad total fue estimada con el método de adición de exceso de ácido y lectura de pH final y el bióxido de carbono total con el pH inicial y la alcalinidad (Strickland y Parsons (1972). Teniendo en cuenta la salinidad y temperatura en cada estación, se estimaron las variables del sistema CO₂-Carbonatos (concentración de CO₂, bicarbonato y carbonato con ecuaciones de Lewis y Wallace), para luego determinar el grado de saturación de calcita y aragonita con las constantes de solubilidad y la concentración de calcio respectiva (Mucci, 1983).

En la boca de la caleta, que la comunica con el Mar Caribe, se realizó un muestreo circadiano de agua superficial obteniendo 25 muestras (una a cada hora) a las que se les hicieron las mismas determinaciones que a las muestras de la caleta. Igualmente se midió con un instrumento multiparámetro YSI 556 temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y potencial óxido reducción. Con cada toma de muestra se hizo una estimación de la corriente en el centro de la boca de 67 metros de ancho usando el método de liberar un flotador y tomar el tiempo en el que recorre una distancia (Rump y Krist, 1992). En este sitio existe un puente flotante que facilitó el muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caleta

Este estudio se realizó en verano por lo que la temperatura fue alta en términos generales, su promedio en superficie fue 27.44 ± 0.81 y en fondo 28.47 ± 1.19 °C, estas temperaturas mayores en el fondo se presentaron debido al efecto de la salinidad en la densidad, como se discute más adelante.

La caleta Xel-Ha tiene un típico comportamiento estuarino debido a la presencia de una amplia boca que la comunica con el mar y por otro lado la entrada de agua dulce continental, como ya se ha publicado (Back et al, 1979). En este estudio el gradiente de salinidad encontrado fue alto, mínima en su parte interna de 7.99 y máxima 36.66 cerca de la boca. La media superficial fue 15.73 ± 4.59 y el promedio de fondo 26.35 ± 7.74 . La Fig. 2 muestra como fue esta variación en el transecto de las estaciones 1 a la 8 (de la parte interna conocida como "río" hasta la boca).

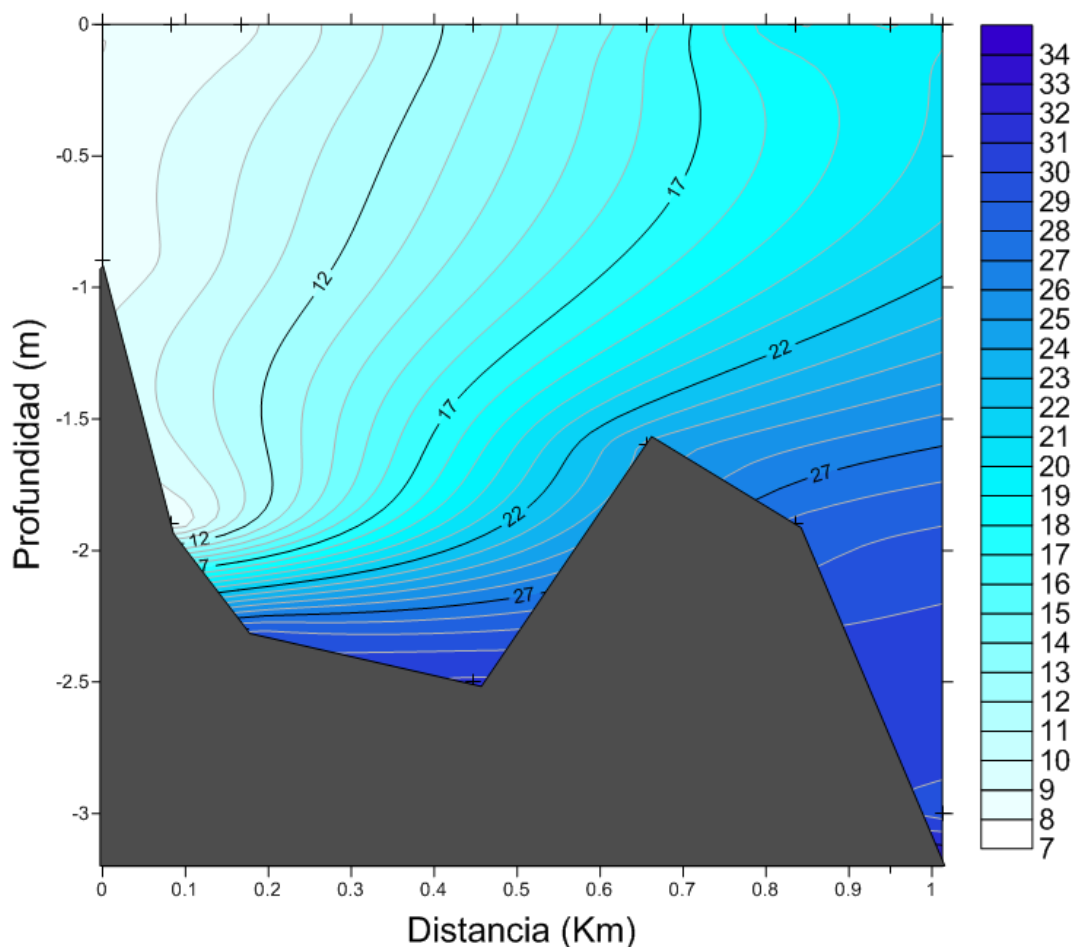


Fig. 2. Salinidad en la Caleta Xel-Ha desde la parte interna (río, lado izquierdo) hasta la boca (derecha de la gráfica) en julio de 2015.

El oxígeno disuelto presentó gradiente horizontal y estratificación vertical debido a que el agua dulce continental tiene bajos niveles de este gas y que además se produce en zonas aisladas de la caleta con florecimientos de fitoplancton. El promedio de las concentraciones en superficie fue 5.49 ± 2.85 y en fondo $5.61 \pm 1.88 \text{ mg l}^{-1}$, con mínimo de 1.87 y máximo de 13.8 mg l^{-1} . La saturación del oxígeno tuvo una media en superficie de 77.4 ± 42.6 y en fondo de $80.1 \pm 36.2 \%$.

El pH tuvo un promedio en superficie de 6.62 ± 0.14 y en fondo de 7.04 ± 0.44 con mínimo y máximo de 6.41 y 8.22. Estas variaciones tan grandes, fueron provocadas por la descarga de agua dulce subterránea en el interior de la caleta, agua rica en bióxido de carbono y por lo tanto con pH bajo (Alcocer et al, 1998), mientras que el agua marina tiene pH elevado arriba de 8.

Potencial redox se presentó en un rango de 63.5 a 83.4 mV y los promedios fueron en superficie de 63.4 ± 14.7 y en fondo $46.9 \pm 20.6 \text{ mV}$. Si bien existen pocos reportes de este parámetro, los valores

que en su totalidad fueron positivos indicaron condiciones oxidantes en la columna de agua (MacIntyre, 1970).

El amonio total estuvo en muy baja concentración, su promedio en superficie fue 0.68 ± 0.28 y en fondo $0.89 \pm 0.30 \mu\text{M}$. También el nitrito presentó bajas concentraciones, su media en superficie fue de 0.28 ± 0.09 y en fondo de $0.30 \pm 0.14 \mu\text{M}$. Las bajas concentraciones de amonio total y nitrito indican que dentro de la caleta los procesos anaeróbicos de descomposición de nitrógeno orgánico son mínimos, procesos como amonificación y desnitrificación (Libes, 2009).

El nitrato estuvo en altas concentraciones y con un fuerte gradiente subiendo hacia el interior de la caleta (ver Fig. No. 3 y 4), fluctuó entre 5.27 y $42.2 \mu\text{M}$, en superficie la media de este nutriente fue 33.8 ± 5.25 y en fondo $17.4 \pm 11.5 \mu\text{M}$. Este gradiente horizontal y vertical dentro de la caleta es una consecuencia de la entrada de agua dulce subterránea rica en nitrato (Alcocer et al, 1998; Valdés y Real, 1998) y su mezcla gradual con el agua marina que entra por la bocana y que tiene baja concentración de este nutriente.

Los fosfatos estuvieron en bajas concentraciones y con un ligero gradiente subiendo hacia las estaciones 16, 17 y 18 de la caleta, fluctuaron entre 0.15 y $0.93 \mu\text{M}$, en superficie la media de este nutriente fue 0.54 ± 0.15 y en fondo $0.57 \pm 0.15 \mu\text{M}$. En los puntos con mayores concentraciones se encuentran los delfinarios, por lo que la mineralización de la materia orgánica desechada por estos animales podría ser la fuente de los fosfatos (Libes, 2009).

Los silicatos estuvieron en altas concentraciones y con un fuerte gradiente subiendo hacia el interior de la caleta (ver Fig. No. 5), fluctuaron entre 12.8 y $74.7 \mu\text{M}$, en superficie la media de este nutriente fue 56.3 ± 11.4 y en fondo $28.6 \pm 17.2 \mu\text{M}$. Al igual que el nitrato su gradiente horizontal y vertical, es una consecuencia de la entrada de agua dulce subterránea rica en silicato (Valdés y Real, 1998) y su mezcla gradual con el agua marina que entra por la bocana y que tiene baja concentración de este nutriente.

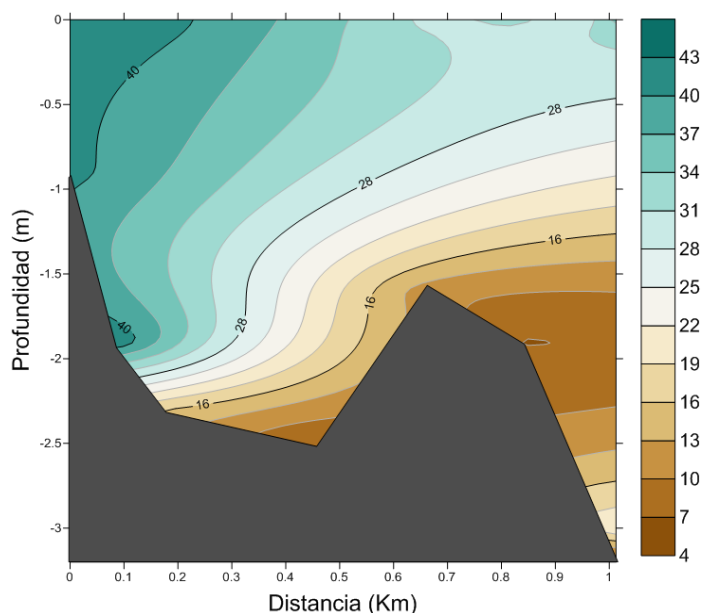


Fig. 3. Concentración de nitrato (μM) en la Caleta Xel-Ha desde la parte interna (río, lado izquierdo) hasta la boca (derecha de la gráfica) en julio de 2015.

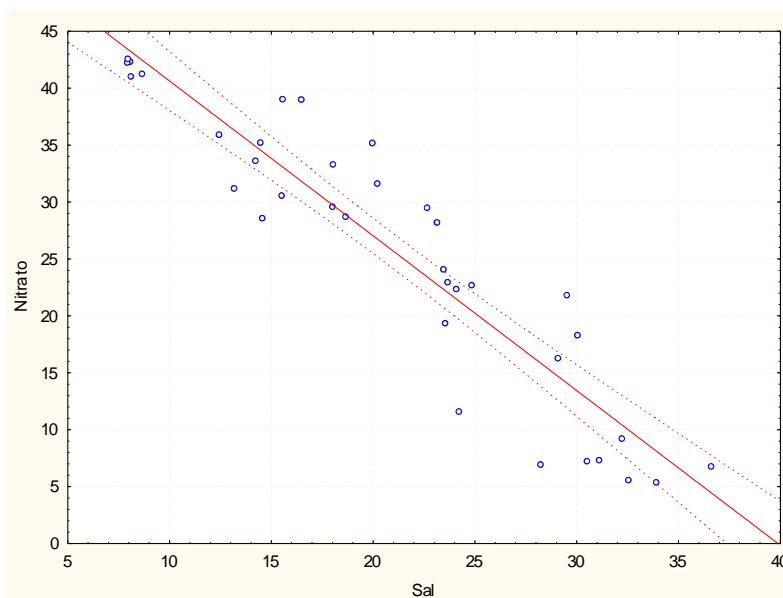


Fig. 4. Concentración de nitrato (μM) Vs. Salinidad en la Caleta Xel-Ha en julio de 2015.

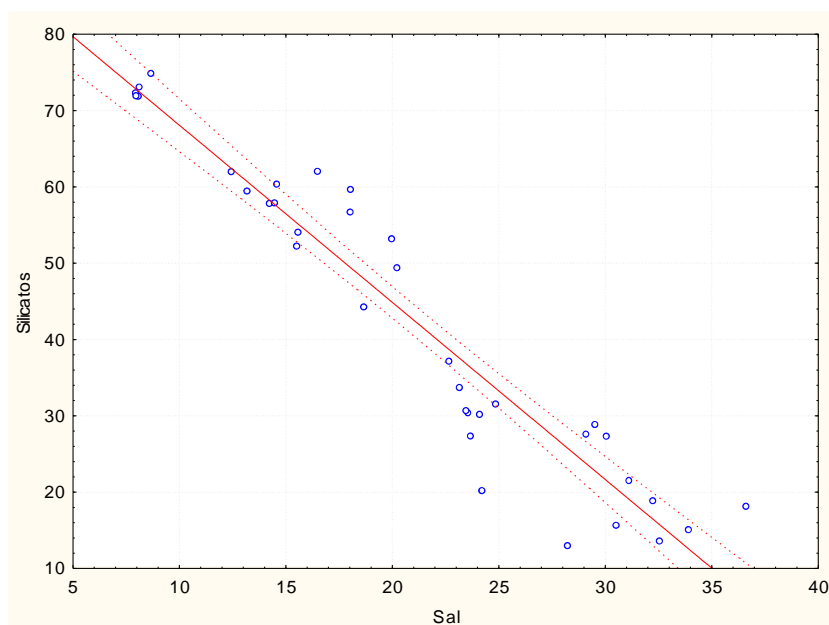


Fig. 5. Concentración de silicatos (μM) Vs. Salinidad en la Caleta Xel-Ha en julio de 2015.

Los sólidos suspendidos totales estuvieron en concentraciones variables, fluctuaron entre 0.6 y 38.2 mg l^{-1} , en superficie la media fue 8.92 ± 8.36 y en fondo 8.11 ± 9.89 mg l^{-1} . La fracción orgánica de este parámetro tuvo un valor promedio en superficie de 3.61 ± 4.39 y en fondo 2.52 ± 2.26 mg l^{-1} , mientras



que la fracción inorgánica tuvo un valor medio en superficie de 5.31 ± 4.89 y en fondo 5.59 ± 7.75 mg l⁻¹.

Las concentraciones de los pigmentos fotosintéticos, clorofilas A, B y C tuvieron un amplio rango, desde un mínimo de 0 (no detectable) en el caso de la clorofila B, hasta un máximo de la clorofila A en superficie de 32.3 mg m⁻³. La clorofila A tuvo un valor medio en superficie de 6.98 ± 12.1 y en fondo de 0.74 ± 0.36 mg m⁻³, la clorofila B tuvo un valor promedio en superficie de 0.61 ± 0.42 y en fondo de 0.40 ± 0.19 mg m⁻³ y la clorofila C presentó un valor medio en superficie de 10.0 ± 7.15 y en fondo de 6.17 ± 0.64 mg m⁻³. Esta última fue la que presentó mayores niveles, lo cual indicó predominio de algas rojas, pardas y dinoflagelados (Speer, 1997).

La alcalinidad total estuvo en altos niveles y con gradiente subiendo hacia el interior de la caleta, fluctuó entre 2.86 y 6.33 meq l⁻¹, en superficie la media de este parámetro fue 5.31 ± 0.57 y en fondo 3.80 ± 0.93 meq l⁻¹. Así mismo el bióxido de carbono total estuvo en altos niveles y subiendo hacia el interior de la caleta, fluctuó entre 2.87 y 11.1 mmol l⁻¹, en superficie la media de este parámetro fue 7.95 ± 1.52 y en fondo 5.04 ± 2.40 mmol l⁻¹. Al igual que el nitrato y los silicatos, alcalinidad y bióxido de carbono total presentaron un fuerte gradiente horizontal y vertical, que es una consecuencia de la entrada de agua dulce subterránea rica en iones bicarbonato, además de ácido carbónico (Alcocer et al, 1989; Stumm y Morgan, 1995) y su mezcla gradual con el agua marina que entra por la bocana y que tiene menores concentraciones de esas especies químicas de carbono inorgánico (ver Figs. 6 y 7).

La concentración de bióxido de carbono, fue otro de los parámetros del sistema CO₂-Carbonatos estimados con las ecuaciones de Lewis y Wallace (1998). Los valores presentaron un claro gradiente con mínimos en la zona de influencia marina (0.1 mM en la bocana) y máximos (5.1 mM) en las estaciones 1 y 2, donde están las descargas de agua subterránea que provienen de continente. El valor promedio fue de 1.9 ± 1.4 mM.

Las concentraciones de calcio y magnesio en la caleta fueron muy variables. Para el primero el valor medio fue de 7.16 ± 1.48 con mínimo y máximo de 4.91 y 9.46 mM. En el caso del magnesio su concentración media fue 35.51 ± 13.57 con mínimo de 14.55 y máximo de 56.22 mM. Para ambos las menores concentraciones se presentaron en las muestras 1 y 2 correspondientes al brazo sur (río) donde descarga agua dulce subterránea y las mayores en la bocana (estación 7). Aun así al analizar la relación Calcio: Salinidad se notó el gran aporte de calcio del agua subterránea ya que fue máxima en las estaciones 1 y 2 (625 µM/PSU), siendo más del doble que la que se presenta en agua marina (294 µM/PSU).

La estimación del grado de saturación de calcita y aragonita en base a las concentraciones de calcio y carbonato, usando las constantes de solubilidad de estos minerales a cada una de las temperaturas y salinidades medidas, arrojó información importante sobre la capacidad de disolución del agua subterránea. Para calcita, el grado de saturación en la caleta fue de 0.39 ± 0.25 y para la aragonita de 0.25 ± 0.17 . Todas las muestras, con excepción de la 7-fondo, presentaron instauración (valores menores de 1) con respecto a ambos minerales de carbonato de calcio. Como se puede apreciar en las figuras 8, 9, 10 y 11, se dio un gradiente con mínimos en las estaciones 1 y 2 (río del brazo norte) y

máximos en la boca de la caleta, con correlación significativa con salinidad, pH e ión carbonato. En el medio marino las aguas superficiales presentan alta sobresaturación tanto de calcita como aragonita (Libes, 2009) mientras que en ríos estos valores son cercanos a 1 (Azetsu-Scott et al, 2010). Back (1963) encontró en las aguas subterráneas de Florida niveles por debajo de 0.5 del grado de saturación de la calcita, lo cual permite que esta agua disuelva la roca caliza a lo largo del tiempo.

En las aguas subterráneas que afloran en Xel-Ha la concentración del bióxido de carbono llegó a niveles de 5 mM, muy alta comparada con el valor de equilibrio del agua de mar que es de 0.3 mM (Stumm y Morgan, 1995). La oxidación de materia orgánica (vegetación terrestre) es probablemente la principal fuente de este CO_2 que al convertirse en ácido carbónico provoca la disminución del pH y la disolución del carbonato de calcio.

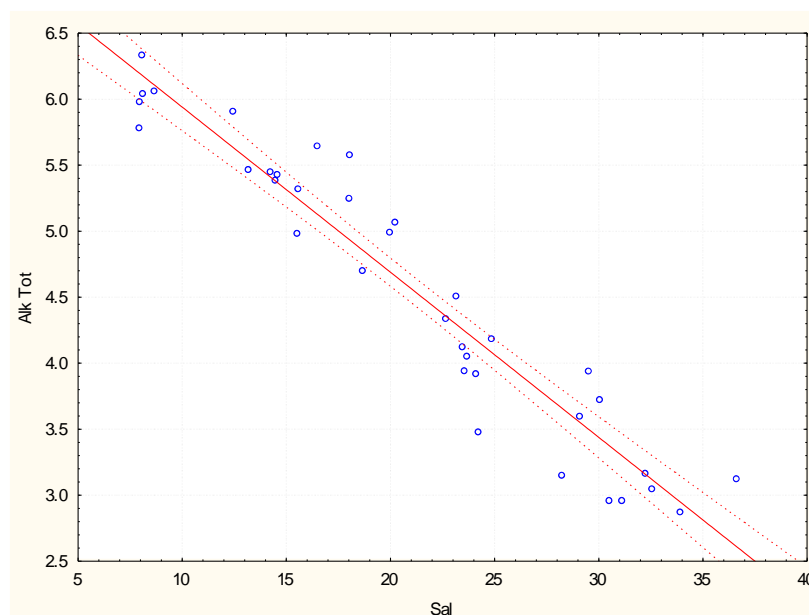


Fig. 6. Concentración de alcalinidad total (meq l^{-1}) Vs. Salinidad en la Caleta Xel-Ha en julio de 2015.

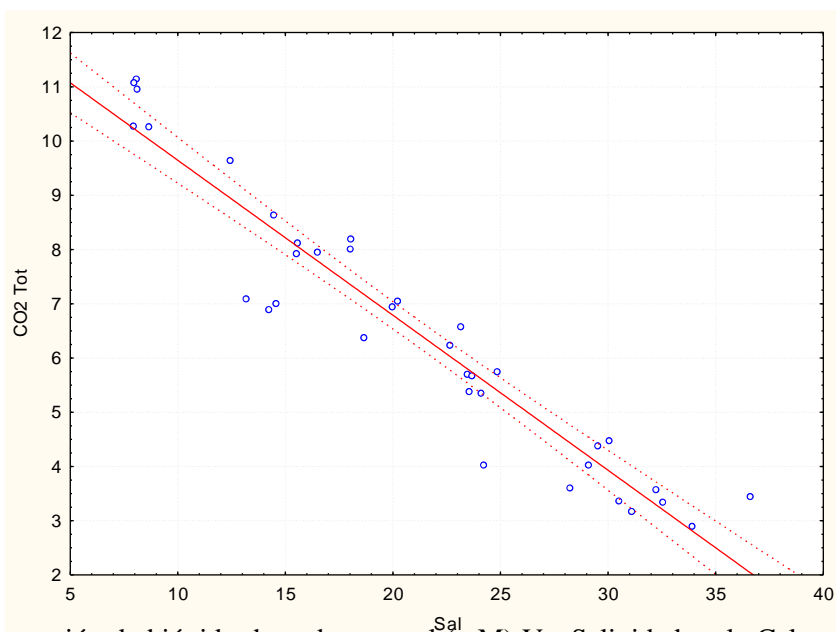


Fig. 7. Concentración de bióxido de carbono total (mM) Vs. Salinidad en la Caleta Xel-Ha en julio de 2015.

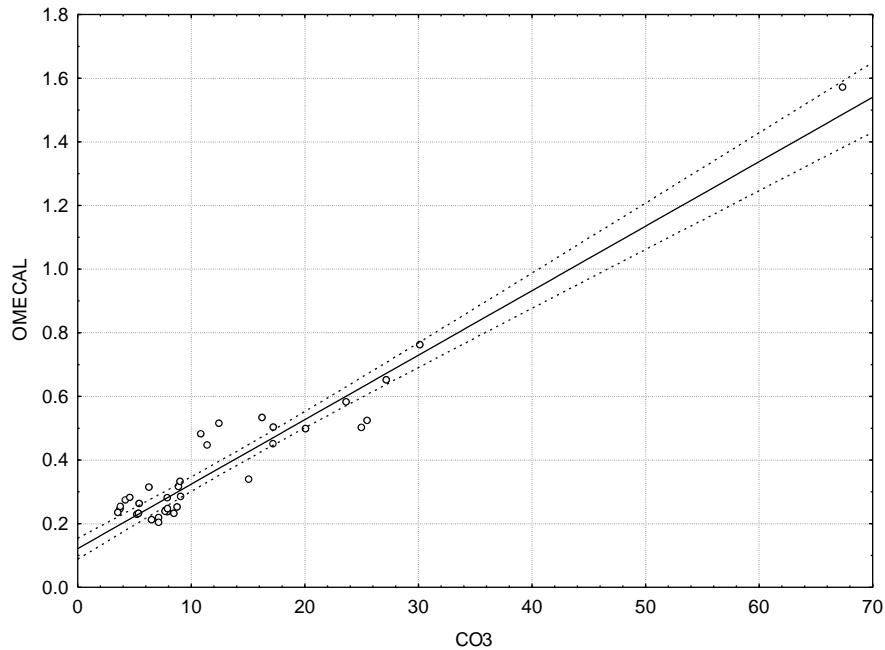


Fig. 8. Grado de saturación de calcita Vs. Concentración de ion carbonato (μM) en la Caleta Xel-Ha en julio de 2015.

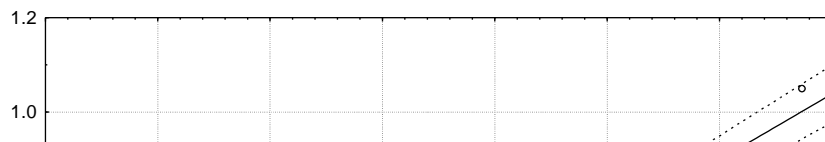


Fig. 9. Grado de saturación de aragonita Vs. Concentración de ion carbonato (μM) en la Caleta Xel-Ha en julio de 2015.

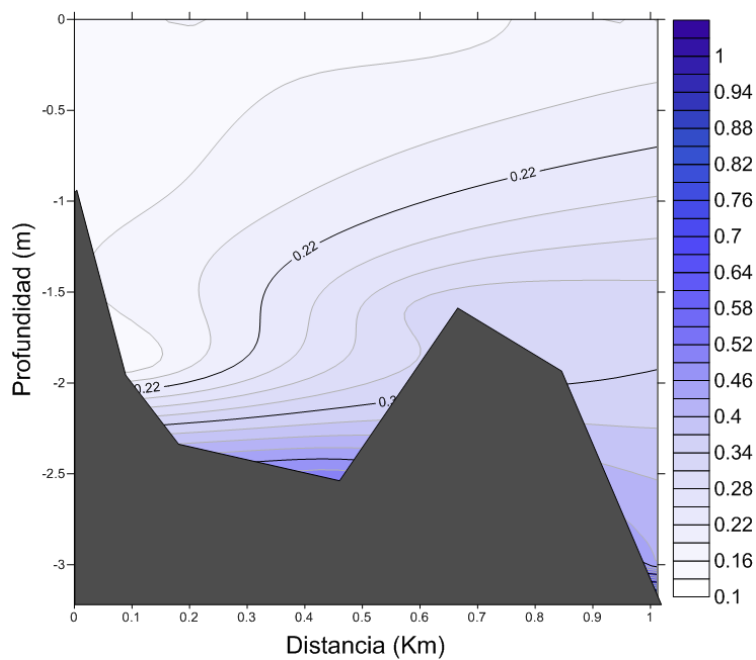


Fig. 10. Grado de saturación de aragonita en la Caleta Xel-Ha desde la parte interna (río, lado izquierdo) hasta la boca (derecha de la gráfica) en julio de 2015.

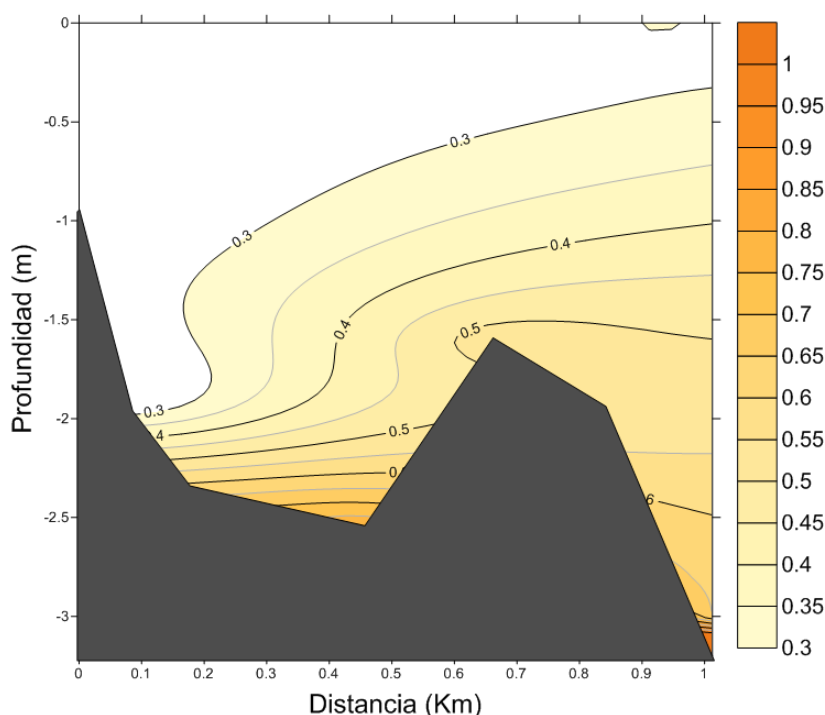


Fig. 11. Grado de saturación de calcita en la Caleta Xel-Ha desde la parte interna (río, lado izquierdo) hasta la boca (derecha de la gráfica) en julio de 2015.

Ciclo circadiano en la boca

Se midió la velocidad en la boca en superficie, cada hora durante 24 horas, estimándose con el área transversal el flujo del agua superficial de $600 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ que salió al Mar Caribe. Estudios anteriores en esta zona por Hanshaw y Back (1980) indicaron flujos de agua del manto freático hacia el mar de $8.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ al año por cada km de litoral, lo cual equivale a $23.6 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$.

Con las concentraciones medidas cada hora en la boca se estimaron los flujos de los diferentes materiales disueltos y suspendidos en el agua superficial. La cantidad de sal que salió fue $9.65 \times 10^3 \text{ Ton d}^{-1}$, esta sal estuvo entrando en la boca por la capa de fondo, las salinidades promedio en la boca fueron: superficie 16.0, fondo 29.3. En el caso del oxígeno fueron 2.36 Ton d^{-1} , sus concentraciones en la boca fueron: superficie 3.94, fondo 4.49 mg l^{-1} , con niveles de saturación de oxígeno en superficie: 55.7 y en fondo 70.4%. El pH promedio en superficie fue 7.40 y en fondo 8.14. El potencial redox promedio en superficie fue -7.66 y en fondo -4.16 mV.

En varias lagunas costeras de la Península de Yucatán se han encontrado importantes flujos de nutrientes y carbono orgánico hacia el mar (Valdés-Lozano et al, 2015), con la diferencia de que son



movidos por la marea (ver Tabla No. 1). Para Xel-Ha, la estimación del flujo de nutrientes fue, del amonio total que salió por superficie 354 mol d^{-1} , en el caso de nitrato 169 mol d^{-1} , nitrato tuvo un flujo alto de $15.3 \times 10^3 \text{ mol d}^{-1}$, fosfatos 296 mol d^{-1} , silicatos $29.5 \times 10^3 \text{ mol d}^{-1}$. Los sólidos suspendidos totales, orgánicos e inorgánicos tuvieron un flujo estimado de 2.77, 1.06 y 1.72 Ton d^{-1} respectivamente. Para los pigmentos clorofila A, B y C los flujos estimados fueron 540, 276 y 3740 g d^{-1} .

Con el balance de sal en la caleta Xel-Ha (salinidades y flujos medidos) se estimó la cantidad de agua que llega del continente obteniéndose un flujo de $300 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ que se mezclan con agua de mar en la caleta. Por diferencia con el agua de la caleta que sale al mar, el flujo del agua marina que entra a ella fue $300 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Así mismo se estimó un tiempo de residencia del agua en la caleta de 1.2 días, basándose en la cantidad (volumen de la caleta) y el flujo de salida.

Para la alcalinidad total y el bióxido de carbono total las estimaciones indicaron que salieron de Xel-Ha $2.98 \times 10^6 \text{ eq d}^{-1}$ y $3.25 \times 10^6 \text{ mol d}^{-1}$ respectivamente, para el calcio $4.03 \times 10^6 \text{ mol d}^{-1}$ y para el magnesio $18.0 \times 10^6 \text{ mol d}^{-1}$. Estudios previos (Hanshaw y Back, 1980) estimaron que en esta zona la disolución de calcita es del orden de $8.6 \times 10^6 \text{ mol y}^{-1}$ por cada kilómetro de costa, que aunque es difícil de comparar con los flujos medidos en este estudio, confirma la gran capacidad de disolución de la caliza que tienen las aguas subterráneas.

Se realizó el balance en la boca de Xel-Ha entre el flujos de los diferentes materiales que salen y entran. Estos resultados se pueden ver en la Tabla No. 1 y sobresale la magnitud de la exportación de nitrato del sistema Xel Ha, mayor incluso que el que tiene Celestún, aun cuando esta última tiene mayor flujo de agua.

El balance de carbono inorgánico disuelto y calcio dio como resultado un superávit de ambos, 2.39×10^6 y $1.03 \times 10^6 \text{ mol d}^{-1}$ respectivamente, que salen hacia el Mar Caribe, lo cual indicó el gran poder de disolución del agua de la caleta sobre el carbonato de calcio. Esto se confirmó con el cálculo del grado de saturación de calcita y aragonita mediante las ecuaciones de (Mucci, 1983) que arrojaron valores medios de 0.39 ± 0.25 y 0.25 ± 0.17 respectivamente.



Sistema	Agua 10 ³ m ³ /d	Sal Ton/d	O ₂ m ³ /d	Amonio mol/d	Nitrito mol/d	Nitrato mol / d	Fosfatos mol/ /d	Silicatos mol / d	S.S. Ton/d	S.S.O. Ton/d
Xel - Ha	-300	-533	-350	-159	-116	-13,754	-172	-25,071	-0.31	-0.28
Celestún	-1,208	-17,686	-5,507	-7,577	-1,557	-10,744	-59	-246,697	-20	-5
Chelem	1,522	56,700	5,126	-3,850	-161	-1,600	-590	-20,600	52	3
Rosada	160	5,000	1	-1,700	307	2,312	-86	-103,841	6	2
Lagartos	12,240	453,800	38,954	33,670	1,887	-2,863	319	352,600	276	68
Nichupté	2,386	87,894	8,642	3,037	77	6,073	244	5,378	6	3

Tabla No. 1. Balance neto en los sistemas estudiados de la Península de Yucatán, negativo=exporta, positivo=importa.

CONCLUSION

En la caleta Xel-Ha tiene una importante descarga de agua dulce continental y la entrada de una cuña salina desde la boca que la comunica con el Mar Caribe. El efecto que la salinidad tiene en la densidad provoca la estratificación de agua superficial de menor salinidad, con importante proporción del agua continental rica en nitrato, silicatos, alcalinidad total y bióxido de carbono total además de pH menor. Por otro lado, el agua de fondo de la caleta es rica en agua marina con bajos niveles de nitrato, silicatos, alcalinidad y bióxido de carbono total, mientras que su salinidad y pH es mayor.

El grado de saturación de calcita y aragonita en la caleta fue de 0.39 ± 0.25 y de 0.25 ± 0.17 respectivamente, con excepción de una muestra, todas estuvieron insaturadas. En las aguas subterráneas que afloran en Xel-Ha la concentración del bióxido de carbono llegó a niveles muy altos de hasta 5 mM.

El flujo del agua superficial que salió al Mar Caribe a través de la boca de la caleta fue de $600 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Nitrato tuvo un flujo de salida alto, de $15.3 \times 10^3 \text{ mol d}^{-1}$, silicatos $29.5 \times 10^3 \text{ mol d}^{-1}$, y para la alcalinidad total y el bióxido de carbono total las estimaciones indicaron que salieron $2.98 \times 10^3 \text{ eq d}^{-1}$



y $3.25 \times 10^3 \text{ mol d}^{-1}$ respectivamente. Para el calcio, salieron por la boca $4.03 \times 10^6 \text{ mol d}^{-1}$ y para el magnesio $18.0 \times 10^6 \text{ mol d}^{-1}$.

Se calculó que la cantidad de agua que llega del continente a la caleta fue $300 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$ y el del agua marina que entra a ella fue $300 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$. El tiempo de residencia del agua en la caleta es de 1.2 días.

Se realizó el balance en la boca de Xel-Ha entre el flujos de los diferentes materiales que salen y entran. Sobresale la magnitud de la exportación de nitrato del sistema: $13.8 \times 10^3 \text{ mol d}^{-1}$. El balance de carbono inorgánico disuelto y calcio dio como resultado un superávit de ambos, 2.39×10^6 y $1.03 \times 10^6 \text{ mol d}^{-1}$ respectivamente, que salen hacia el Mar Caribe, lo cual indicó el gran poder de disolución del agua del manto freático sobre el carbonato de calcio ya que en la caleta el grado de saturación de calcita y aragonita fueron de 0.39 ± 0.25 y 0.25 ± 0.17 respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Alcocer, J.; Lugo, A.; Marín, L.E.; y Escobar, E. 1998. Hydrochemistry of waters from five cenotes and evaluation of their suitability for drinking-water supplies, northeastern Yucatan, Mexico. *Hydrogeology Journal*. 6:293–301.
- A.P.H.A., A.W.W.A. & W.P.C.F., 1985. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 16th Edition, Washington, USA, 1268 pp.
- Back, W. 1963. Preliminary results of a study of calcium carbonate saturation of ground water in central Florida, International Association of Scientific Hydrology. Bulletin, 8:3, 43-51, DOI: 10.1080/02626666309493336.
- Back, W. y Hanshaw, B. B. 1970, Comparison of chemical hydrogeology of the carbonate peninsulas of Florida and Yucatan. *Journal of Hydrology*. 10, 330 - 368.
- Back, W.; Hanshaw, B. B.; Pyle, T.; Plummer, L. N.; y Weidie, A. E. 1979. Geochemical significance of ground-water discharge and carbonate solution to the formation of Caleta Xel Ha, Quintana Roo, Mexico. *Water Resources Research*. 15, 1521-1535.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Quinta edición: corregida y aumentada, DR© Instituto de Geografía-UNAM. ISBN-UNAM: Serie Libros (Obra General) 968-36-7398-8. ISBN 970-32-1010-4. 90 pp.
- Hanshaw, B. B. y Back W. 1980. Chemical mass-wasting of the northern Yucatan Peninsula by groundwater dissolution. *Geology*; 8; 222-224. doi: 10.1130/0091-7613(1980).
- Libes, S. 2009. Introduction to Marine Biogeochemistry. Academic Press. San Diego, California. 909 pp.
- Lewis, E., and D. W. R. Wallace. 1998. Program Developed for CO₂ System Calculations. <file:///C:/CDIACCO2sys/co2rppt.html>. ORNL/CDIAC-105. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee.



- MacIntyre, F. 1970. Why the sea is salt. Scientific American. 223 (5), November: 104-115.
- Mucci, Alfonso. 1983. The solubility of calcite and aragonite in seawater at various salinities, temperatures, and one atmosphere total pressure, American Journal of Science, 283 (7), p. 780-799.
- Parsons, T. R., Maita, Y. y Lalli, C. M. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. England. 173 pp.
- Peel J. R.; Sáenz R.; May E.; Montero J. y Aldana-Aranda D. Importancia de una área natural protegida en el Caribe Mexicano en la conservación y manejo de una especie amenazada, el Caracol Rosa, *Strombus gigas*. Proceedings of the 63rd Gulf and Caribbean Fisheries Institute November 1 - 5, 2010 San Juan, Puerto Rico.
- Rump, H. H. y Krist, H. 1992. *Laboratory manual for the examination of water, waste water, and soil*. Weinheim; New York : VCH 2nd ed. 190 pp.
- Speer, B. R. (1997). Photosynthetic Pigments. In Glossary. Retrieved from <http://www.ucmp.berkeley.edu/glossary/gloss3/pigments.html>
- Stirling, H. P. 1985. *Chemical and Biological Methods of Water Analysis for Aquaculturalists*. Institute of Aquaculture. University of Stirling. Stirling FK94LA Scotland. 118 pp.
- Strickland, J. D. H. y Parsons T. R. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fisheries Research Board of Canada. Bulletin 167 (Second Edition), 310 pp.
- Stumm, W. y Morgan, J.J. 1995. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*, 3rd Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1022p.
- Valdés, D.S. y Real, E. 1998. Variations and relationships of salinity, nutrients and suspended solids in Chelem coastal lagoon at Yucatan, Mexico. Indian Journal of Marine Science, 27:149-156.
- Valdés-Lozano, D. S.; Real E. y Granados, S. 2015. Lagunas costeras de la Península de Yucatán: fuente o sumidero de carbono, nitrógeno y fósforo. VI Simposio Internacional del Carbono en México. Villahermosa, Tabasco, México.



Extenso ID: 171. Karina de la Rosa Meza^a, Mario Brambila Rodríguez^b, Isaac Castillo Cruza, María de los Ángeles Carvajal^c. EVALUACIÓN DE ZONAS DE RESTAURACIÓN PESQUERA EN MARISMAS NACIONALES, CON LA PARTICIPACIÓN DE PESCADORES

[Regresar al índice](#)

^a CIIE Mar Bermejo SC, Tepic, Nayarit, email: karinadelarosa@ciiemarbermejosc.org

^b S.C.P.P. Casa Cuna de Pescadores del Municipio de Rosamorada, Nayarit, Rosamorada, Nayarit, email: scccp2011@hotmail.com

^c SuMar, Voces por la Naturaleza A.C., Hermosillo, Sonora, sumar.macr@gmail.com

RESUMEN

Marismas Nacionales (MN) posee del 15 al 20% del bosque de manglar en México, con las lagunas costeras más productivas del noroeste del país y donde la pesca es de las principales actividades económicas. Sin embargo, esta actividad va a la baja por motivos ambientales y antropogénicos, como la sobreexplotación y el uso de alimento balanceado “purina” para atraer el camarón, lo cual contamina y azolva las lagunas y que ha sido señalado por los pescadores como prioritario para erradicar. Las acciones instrumentadas para la recuperación pesquera en la zona, son el establecimiento de zonas de restauración pesquera (ZRP) voluntarias en 731 Ha, donde se deja de pescar parcial o totalmente; se está impulsando el cumplimiento de la NOM 064 que prohíbe el “purineo”, entre otras malas prácticas, a través de campañas educativas; además se han establecido sanciones internas a quien se sorprenda usando “purina”; y 13 cooperativas pesqueras han firmado acuerdos para el respeto de las ZRP y la legislación pesquera. Para evaluar las ZRP se realiza un programa de monitoreo en 2,233 Ha, con participación activa de 4 cooperativas pesqueras de Teacapán, Sin. y Rosamorada, Nay. Para ello se capacitó a un grupo de 16 pescadores para coleccionar información biofísica mensualmente desde el 2014. Se analizó la información con estadística paramétrica y multivariada para la caracterización de cuatro lagunas de MN en el norte de Nayarit, encontrándose diferencias fisicoquímicas y biológicas entre las mismas, a pesar de su cercanía. Una de las ZRP presentó mayor biodiversidad que las lagunas donde utilizan “purina”. Se detectó una relación entre la salinidad (0.7402), temperatura (0.5992) y oxígeno disuelto (-0.9041) con la talla del camarón por lo que el uso de “purina” en esas zonas interfiere en la calidad del agua. El camarón utiliza zonas someras y pegadas al macizo continental como áreas de crecimiento y es donde mayor “purina” se usa. Si bien es aun temprano para conocer la efectividad de las ZRP ya tienen indicios de que pueden disminuir la presión de pesca y las malas prácticas en MN, aunque también son generadoras de conflicto social.

Palabras clave: Monitoreo biofísico, camarón, prácticas sustentables

1 INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de manglares son reconocidos como sistemas altamente productivos y con una diversidad alta dentro de zonas tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Field, 1998; Dye, 2006;



Datta et al., 2010; Dinesh & Chaudhuri, 2013; Thatoi et al., 2013). Son importantes hábitat de crianza para especies de crustáceos y peces comerciales, por su relevancia ecológica y beneficios a la sociedad (McKee, et al. 2007; Shervette et al., 2007; Datta et al., 2010). Sin embargo, desde hace dos décadas se ha registrado un deterioro y destrucción de la cobertura de manglar y su hábitat lagunar, debido a la presión por las actividades económicas de población local, sobreexplotación pesquera, contaminación por afluentes de aguas negras (McKee, et al., 2007; Datta et al., 2010) y fenómenos meteorológicos (McKee, et al., 2007) y por la construcción de infraestructura relevante, como la construcción de presas en los ríos que desembocan en el área.

Los ecosistemas, como Marismas Nacionales (MN), se caracterizan por mareas periódicas de inundación agua dulce y marina, en donde factores ambientales como salinidad y disponibilidad de nutrientes son altamente variables lo que le confiere características específicas. Permitiendo la coexistencia de una alta diversidad de fauna, flora y microbiana (Thatoi et al., 2013).

Los cambios en los procesos de nutrientes al interior de ecosistemas como MN son respuesta del enriquecimiento externo, es decir, el comportamiento de la cantidad y flujo de nutrientes internos son directamente dependientes de los procesos que pasan en el océano (Feller et al, 1999) y con los afluentes de agua dulce de los cuatro ríos que desembocan en la región. Por ello, las alteraciones en la disponibilidad de nutrientes en los procesos primarios modifican las tasas de descomposición y asimilación de los manglares (Feller et al, 1999).

MN, por ser un ecosistema de manglares, se considera como dinámicos y su crecimiento o disminución está influenciado por las condiciones ambientales costeras. Deben ser considerados tres factores para considerar la rehabilitación de un ecosistema de manglares: la conservación del sistema natural, la sustentabilidad de los recursos naturales y la protección de áreas costeras (Field, 1998). Siendo necesario el desarrollo de modelos y técnicas de evaluación adecuadas para todas las funciones, atributos y servicios que ofrece el ecosistema, en especial, la evaluación de la biodiversidad de la comunidad (Machintosh & Ashton, 2002), ya que las alteraciones inducidas por contaminantes afectan la abundancia y diversidad de las especies de fauna (Mchenga & Tsuchiya, 2008; Penha-Lopes et al. 2009)

En MN para la captura de camarón, se utiliza, desde hace más de 25 años, el alimento balanceado “purina” como atrayente. Lo cual, ha venido modificando los fondos de las lagunas donde está presente la especie. Las variaciones en la estructura del hábitat influyen los procesos demográficos y determinan la distribución y abundancia de las poblaciones en espacio y tiempo. Por lo que las interacciones bióticas y abióticas afectan estos procesos (Minchinton et al., 2001). Incluidos las alteraciones.

La diversidad, riqueza, abundancia relativa y la estructura trófica de las comunidades de peces, son una herramienta para evaluar la salud relativa de los sistemas estuarinos (Shervette, et al., 2007)

El programa de monitoreo, tiene sus raíces a partir de la campaña de valoración de servicios ambientales que desarrolló SuMar y sus socios, durante 2011 y 2012 en Sonora, Sinaloa y Nayarit, donde se identificaron cuatro temas centrales a través de la participación de los pescadores y otros ciudadanos involucrados. Uno de los problemas que se priorizaron fue el uso de la alimento balanceado “purina” para atraer el camarón y capturarlo; y el envenenamiento de venas de estero con cianuro que mata todo donde se aplica, para luego elegir los peces más grandes y ponerlos a la venta. El uso de “purina” por presentar alto contenido de carbono, nitrógeno y fosforo que presumiblemente contribuyen al deterioro del ecosistema.

Como una posible solución, se ha promovido el establecimiento de Zonas de Recuperación Pesquera (ZRP) voluntarias. Son los mismos pescadores de cooperativas de producción pesquera quienes atienden su preocupación ante el deterioro de sus áreas de trabajo para extraer recursos y por medio de talleres, identificar zonas tradicionalmente importante para ellos y que presentan un grado de deterioro visible para que sean recuperadas al dejar de utilizar “purina”, al menos durante dos a cinco años. A la fecha, se han establecido tres ZRP, una en MN Sinaloa y dos en el norte de MN Nayarit, las cuales cubren un total de 783 ha (Fig. 1). El objetivo fue verificar las condiciones y la efectividad de las zonas de restauración pesquera establecidas voluntariamente por pescadores, al interior del ecosistema lagunar de Marismas Nacionales.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La selección de los sitios de muestreo se realizó en conjunto con los pescadores. El programa de monitoreo incluye 2,233 ha en total; Nayarit 551 ha y Sinaloa 1,681 (Tabla I). Las ZRP cubren 783 ha entre ambos estados (Fig. 1).

Tabla VI. Áreas incluidas en el programa de monitoreo por estado y sitio expresada en hectáreas. ZRP Zona de Restauración Pesquera, *UP* Uso *Purina*.

Estado	Localidad	Sitio de muestreo	Área (ha)
Nayarit	Pescadero	Pescador (ZRP)	452
	San Miguel	El Tambo (<i>UP</i>)	9
	San Miguel	Las Culebras (ZRP)	11
	San Miguel	El Cajete	78
	Teacapán	Coquito-Cebolla (ZRP)	267
Sinaloa	Teacapán	Palma-Tuco	77
	Teacapán	Zopilote-Conchita	1337

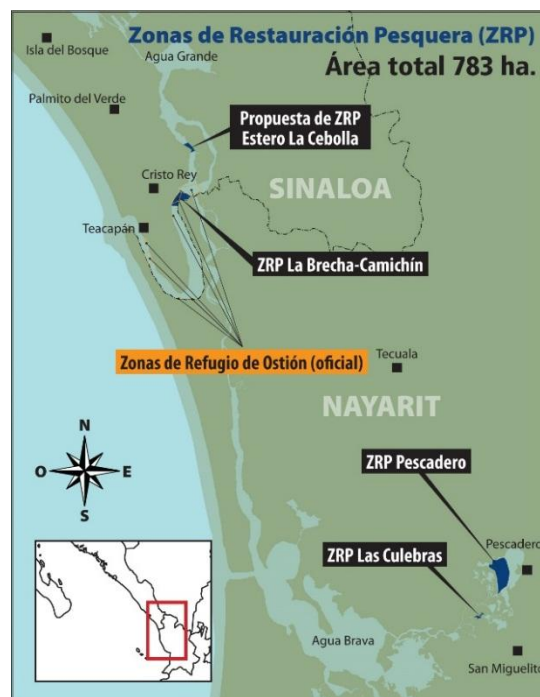


Figura 7. Zonas de Restauración Pesquera voluntarias en Marismas Nacionales.



El programa de monitoreo es realizado por pescadores asignados por las cinco cooperativas que han venido participando: SCPP Única de San Miguel y SCPP Pescadores de San Miguel y SC Casa Cuna de Pescadero en Nayarit y SCPP La Brecha y SCPP Camichin en Sinaloa. Previa capacitación y con acompañamiento técnico. El programa consiste en muestrear 7 lagunas con diferentes características algunas de ellas, identificadas por el uso permanente de “purina” (El Tambo) y otras donde está restringida la pesca ya sea temporal (Pescador) o por artes de pesca (Coquito-Cebolla). Se realizan tres tipos de muestreos (Tabla II), los cuales, se llevan a cabo una vez al mes desde julio 2014 hasta febrero 2016.

La capacitación constó en el manejo de instrumentos de medición (oxímetro, refractómetro, disco de secchi), draga y toma de muestras de agua. Para el muestreo biológico se capacitó para que realicen las biometrías de acuerdo al grupo taxonómico (peces o crustáceos) y la utilización de bitácoras para el registro de la información. Además, se han capacitado para interpretar los resultados, siendo ellos quienes realizan las presentaciones a sus compañeros de las cooperativas, a la comunidad y autoridades como CONAPESCA.

Tabla VII. Variables/parámetros medidos, análisis de datos por tipo de muestreo.

Tipo de muestreo	Medición de variables/parámetros	Análisis de datos
I. Muestreo de parámetros / variables fisicoquímicas y sedimento	Agua: temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de demanda de oxígeno disuelto, salinidad, profundidad, turbidez, nitratos y fosfatos Sedimento: olor, consistencia y color.	Estadística paramétrica
II. Muestreo biológico de camarón (solo para Nayarit)	Talla, peso y sexo	Relación longitud vs peso y estructura de tallas (Santos-Ortega, 2004, Quiñonez-Velázquez & Mendoza-Guevara, 2009). Correlación simple entre variables ambientales (Castillo-Rivera y Zárate-Hernández, 2001)
III. Muestreo biológico de la fauna	Identificación de especie, talla, peso y sexo.	Estructura de la comunidad (métodos tradicionales y multivariados): índices ecológicos, análisis de similitud entre comunidades y relación talla peso de las principales especies (Clarke & Gorley, 2006, Colwell, 2006, Gotelli & Entsminger, 2001).

3 RESULTADOS

En la tabla III, se sintetiza la cantidad de muestras analizadas por año, por estado y por tipo de muestreo. En total son 12,082 muestras. La descripción de los resultados corresponden a Nayarit y de Sinaloa solo los de agua y sedimento. En Sinaloa no se muestreo camarón (n/a).

Tabla VIII. Número de muestras analizadas en el monitoreo de las ZRP en Nayarit y Sinaloa.

Tipo de muestreo	Años							
	2014		2015		2016		Subtotal	
	NAY	SIN	NAY	SIN	NAY	SIN	NAY	SIN
Agua	2919	884	3744	1242			6663	2126
Sedimento	144	108	144	54	48	9	336	171
Muestreo biológico camarón	124	n/a	979	n/a		n/a	1103	n/a
Muestreo biológico fauna	352	--	1087	244			1439	244
Subtotal	3539	992	5954	1540	48	9	9541	2541
							12,082	TOTAL

Los resultados de la caracterización físico química de las lagunas en Nayarit (Fig. 2) nos indica que El Cajete (más cercano a la boca que comunica al mar) es el sitio más profundo, más salino, menos caliente y con menor oxígeno. Las Culebras (ZRP) es más profundo que Pescadero pero menos El Tambo y El Cajete, salinidad intermedia, temperatura mayor que Pescadero pero menos que las otras dos lagunas y valores intermedios de oxígeno disuelto. El Tambo (más cercano a la orilla del macizo continental e intermedio hacia la boca al mar) menos profundo que El Cajete pero más que Las Culebras y Pescadero, baja salinidad, mayor temperatura superficial y mayor oxígeno disuelto. Pescadero (ZRP, más cercano a la orilla del macizo continental y más alejado de la boca al mar) menos profundo, salinidad y oxígeno intermedios. En la mayoría de los casos, la concentración de nutrientes fue similar entre los sitios de muestreo, con algunos incrementos de septiembre a diciembre probablemente relacionados con el uso de “purina”.

En Sinaloa (Fig. 3), en Coquito-Cebolla (más cercano a la boca que comunica al mar) con profundidad y oxígeno disuelto intermedia respecto a los otros dos polígonos). Palma-Tuco (intermedio a la boca que comunica al mar) más profundo y oxígeno disuelto. Zopilote-Conchita (más lejano a la boca que comunica al mar) menos profundo y con mayor oxígeno disuelto. En los tres casos, la salinidad y temperatura corresponden a la época de secas (altas) y lluvia (bajas), siendo el polígono menos profundo la concentración de los mismos es mayor. Además de que existe un patrón cíclico cada 6 meses de la concentración de nitratos.

Se capturaron 1,216 camarones: siendo 60% de San Miguel (SM) y el 40% de Pescadero. En SM: en El Cajete (zona común) 106 organismos; Las Culebras (ZRP) 60 y El Tambo (usan purina) 569. En Pescadero (ZRP) fueron 481. En todos los casos, más de 60% fueron camarones en primeros estadios de vida que no fue posible determinar su sexo. En general, hubo una relación de 1:1 Hembras: Machos.

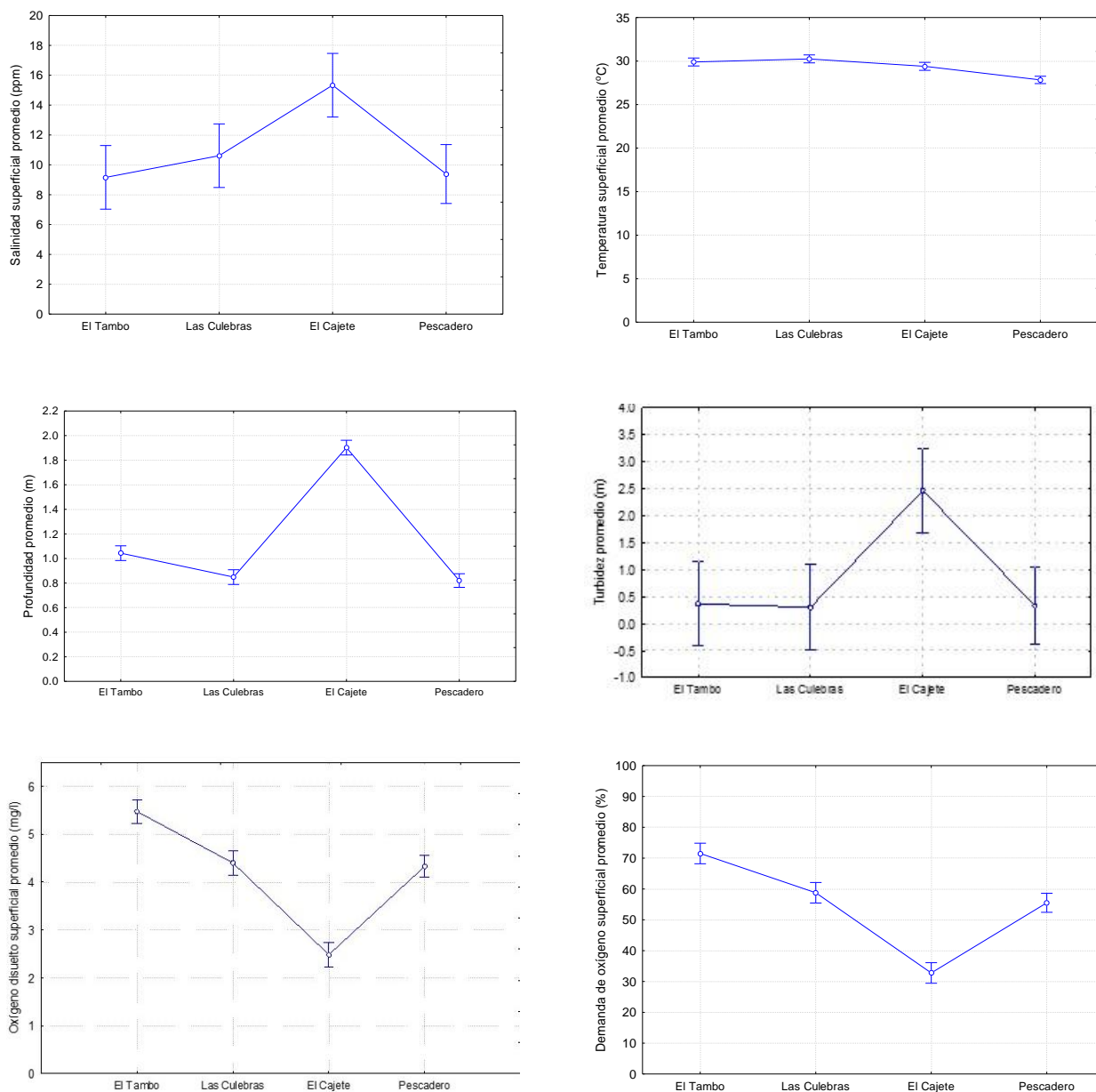


Figura 8. Comparación entre lagunas para algunas variables y parámetros que se muestrean en Nayarit. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 0.95.

La composición de tallas general fue de 2-18 cm de longitud total (LT) y peso total (PT) de 0.5-32 gramos con variaciones de acuerdo a la zona de muestreo; en El Cajete y Las Culebras se registraron los camarones más grandes en promedio (Prueba de Tukey $P < 0.01$). En el Tambo y Pescadero tenían tallas pequeñas y grandes (Prueba de Tukey $P < 0.05$), siendo en Pescadero donde la estructura de tallas estuvo mejor representada.

En las cuatro zonas de muestreo se observan dos grupos de crecimiento (cohortes, ANOVA, $P < 0.001$). En El Cajete, una cohorte de noviembre 2014 a agosto 2015, con un mayor crecimiento de junio a agosto 2015. La otra cohorte se observa de septiembre 2015 a febrero 2016. En Las Culebras, una de diciembre 2014 a junio 2015, con mayor crecimiento de abril a junio 2015. El otro periodo fue de agosto 2015 a febrero 2016. En El Tambo, una de diciembre 2014 a julio 2015, el mayor crecimiento fue de junio a julio 2015. El otro periodo fue de agosto 2015 a febrero 2016.

En Pescadero, una de diciembre 2014 a agosto 2015, en donde se registra un incremento significativo de abril a agosto 2015. En el grupo de octubre 2015 a febrero 2016 no se observa incremento.

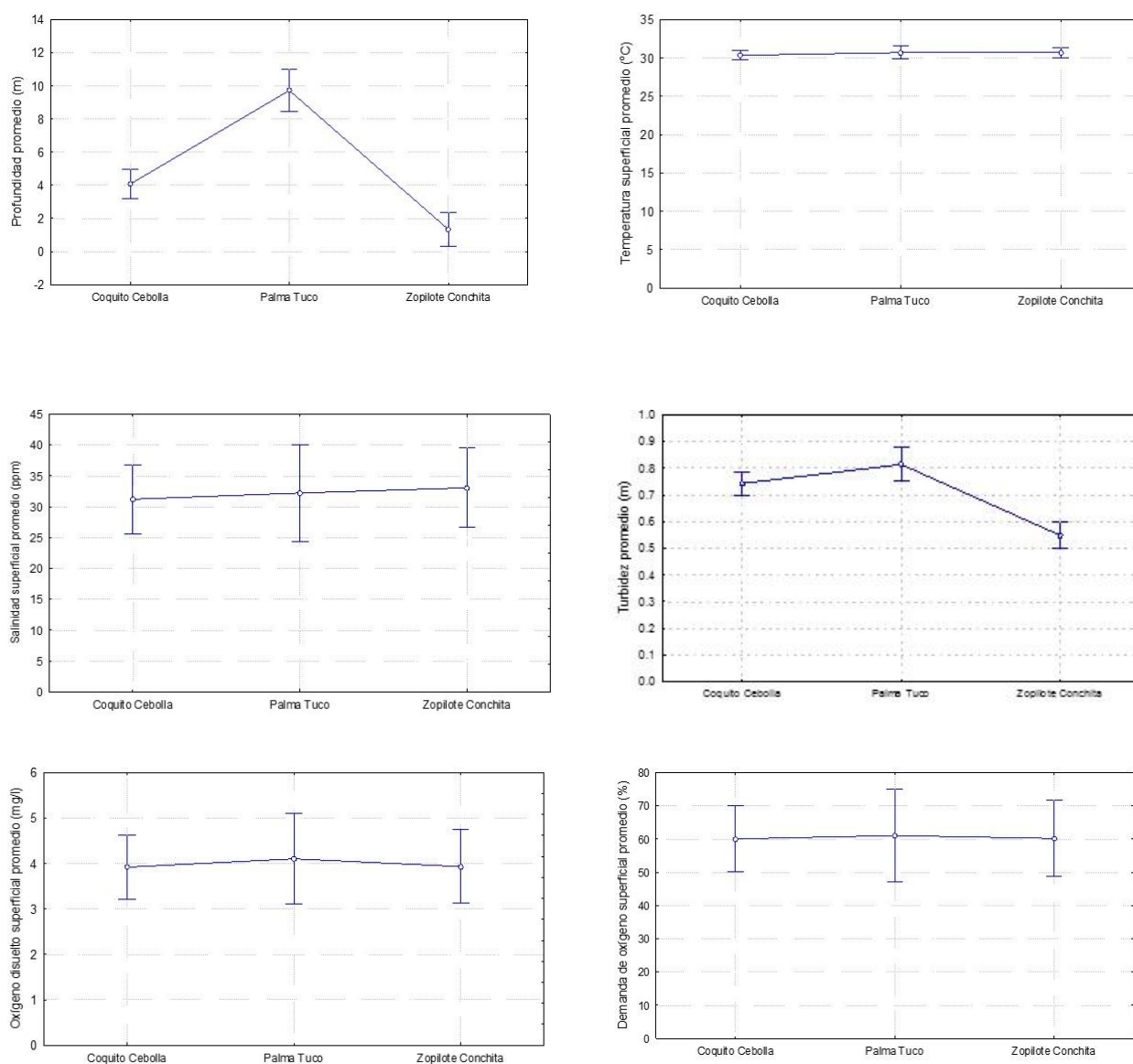


Figura 9. Comparación entre zonas de muestreo para algunas variables y parámetros que se muestrean en

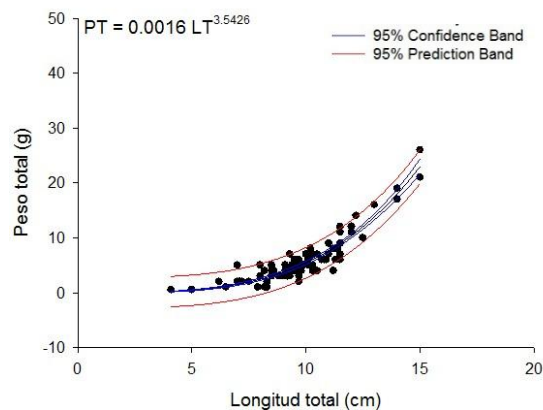
Sinaloa. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 0.95.

Se recolectaron 1,738 organismos incluidos en 26 especies; 2 corresponde a crustáceos (cangrejo y jaiba) y el resto son peces. En El Cajete se registraron 19 especies, en Las Culebras 21, en El Tambo 15 y en Pescadero 17 (Tabla V).

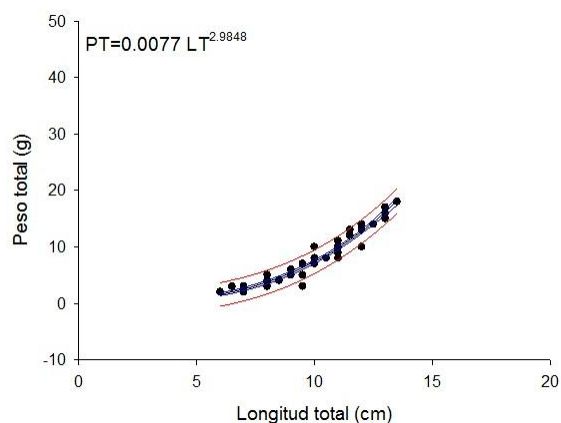
De acuerdo a los índices ecológicos por cada zona (tabla IV), se registró que El Cajete y Las Culebras presentaron el mayor número de especies y número de organismos muestreados; y El Tambo y Pescadero el menor. Los análisis muestran que El Cajete y Las Culebras presentan una similitud alta en la composición de especies, así como Pescadero y El Tambo (Tabla VI).

Tabla IX. Índices ecológicos de acuerdo a la zona de muestreo de Nayarit 2014-2016.

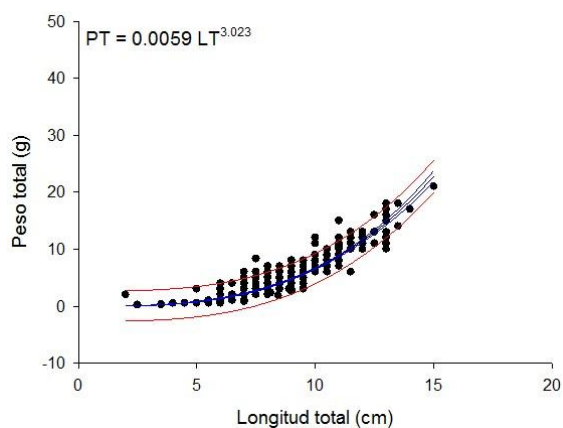
Zona de muestreo	Número especies total	Número de organismos	Riqueza de especies (Índice de Margalef)	Equidad de Pielou	Equidad de Brioullin	Diversidad Shannon-Wiener
El Cajete	19	556	2.85	0.77	2.19	3.25
Las Culebras	21	765	3.01	0.64	1.88	2.79
El Tambo	15	226	2.58	0.68	1.74	2.66
Pescadero	17	191	3.05	0.78	2.08	3.21
General	26	1738	3.35	0.70	2.24	3.27



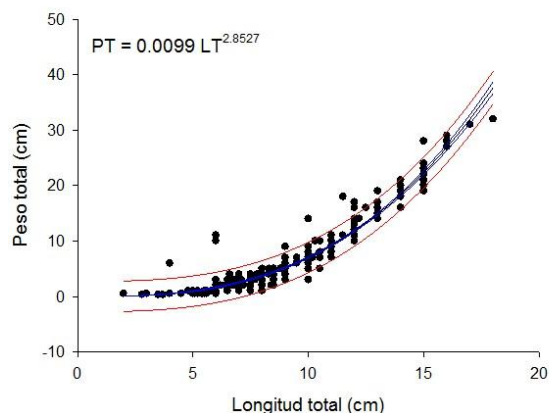
El Cajete



Las Culebras



El Tambo



Pescadero

Figura 10. Relación longitud total vs peso total de los camarones capturados de acuerdo a la zona de muestreo.

Se determinó que son 10 especies más representativas durante los muestreos (57%). En Las Culebras donde el Chihuil (Bagre) fue la más importante (número, peso y frecuencia), en El Cajete y El Tambo en segundo orden de importancia y en Pescadero y El Tambo la tilapia en segundo orden de importancia.

Tabla X. Número de organismos muestreados por zona de muestreo y año.

Especie	El Cajete			Las Culebras			El Tambo			Pescadero		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Abomo			X		X							
Anchoa aletona del pacifico	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X
Bagre	X	X	X	X	X	X	X				X	
Burro					X						X	
Cangrejos		X										
Chile	X	X		X	X	X	X				X	
Constantino	X	X	X	X	X	X	X				X	X

Curvina	X	X										
Gobio	X	X			X			X			X	X
Jaiba	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
Jurel común	X	X			X							
Lengua listada					X							
Lisa		X	X		X	X	X	X			X	
Mojarra aleta amarilla	X	X	X	X	X	X		X			X	
Mojarra blanca	X		X	X	X	X					X	
Mojarra negra									X			X
Mojarra tilapia		X		X	X		X	X	X	X	X	X
Mojarra tricolor	X	X	X	X	X	X		X			X	
Pajarito											X	
Pámpano											X	
Pargo					X							
Piña bocona	X	X		X	X	X		X	X		X	
Sábalo	X	X			X							
Sardina crianuda	X	X		X	X	X			X	X	X	X
Sol de Mazatlán	X		X	X	X			X				
Verrugato aleta larga					X			X				

En todos los casos, es mayor la proporción de los organismos capturados de tallas pequeñas que aún son inmaduros sexualmente para reproducirse.

Tabla XI. Análisis de similitud (ANOSIM) de la composición de especies capturada por zona de muestreo.

Comparaciones	Estadístico R	Nivel de Significancia	Interpretación
El Cajete vs Las Culebras	0.13	0.5	Similitud alta
El Cajete vs El Tambo	0.386	0.1	Separación reducida
El Cajete vs Pescadero	0.638	0.1	Traslazo claramente diferenciado
El Tambo vs Las Culebras	0.371	0.1	Separación reducida



El Tambo vs Pescadero	0.002	40.5	Similitud alta
Las Culebras vs Pescadero	0.53	0.1	Traslapo claramente diferenciado

Los análisis de correlación de las variables que más inciden en el crecimiento del camarón son la temperatura, profundidad y salinidad. Siendo más evidente la relación de mayor salinidad y temperatura mayor crecimiento en El Tambo y Pescadero. Con el aumento de la temperatura, existe una disminución de la concentración de oxígeno y este a su vez, afecta la concentración de fosfatos y nitratos. Estos dos nutrientes son vitales para que se lleve a cabo la productividad primaria en este tipo de ecosistema.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La calidad del agua varia entre años en todos los sitios de muestreo. Siendo mayores los valores de todos los parámetros en el 2015. Es más evidente la demanda de oxígeno en El Tambo (Nay), lo que se puede relacionar con la cantidad de “purina” utilizada. Pues este parámetro nos indica que existe una mayor oxidación de materia orgánica. En el caso de Sinaloa, en Zopilote-Conchita (sitio más alejado a la boca) se observa una mayor demanda de oxígeno que se puede relacionar con las descargas de las granjas de camarón aledañas.

La menor calidad (olor fuerte y textura pastosa) de los fondos en Nayarit estuvo evidenciada en El Tambo seguida de Pescadero, lo cual, se relaciona con el uso de “purina” y Las Culebras (ZRP) la mejor calidad (olor débil y textura fangosa). En Sinaloa, en los tres sitios de muestreo se registró buena calidad de sedimento.

Por la distancia a la línea de costa, estos resultados sugieren que mientras más cercano este la laguna a la línea de costa, mayor es el número de camarones presentes de talla pequeña (Pescadero y El Tambo) y mientras más alejado, encontramos organismos más grandes (Las Culebras y El Cajete). Lo anterior, sugiere que lagunas pegadas a la línea de costa (Pescadero y El Tambo) son usadas por el camarón como áreas de crianza y por ende, se debe tener un mayor control con la mala práctica del “purineo”. Por lo que, el uso de hábitat de las mismas está relacionada con zonas de refugio, crianza y alimentación.

La estructura de talla del Chihuil (Bagre) en El Cajete y Las Culebras varió entre meses. Lo que sugiere una posible migración entre las lagunas para crecer. De Julio a Octubre en El Cajete y de Enero a Abril en Las Culebras. Por otro lado, en El Cajete la estructura de talla del Constantino no se observa un patrón de crecimiento, diferente a Las Culebras, donde se observa un incremento de talla de enero a octubre, lo que sugiere que Las Culebras al ser una zona de no pesca, está permitiendo que el Constantino crezca para su posterior explotación. Siendo esta especie de importancia comercial.



El área Coquito-cebolla en Sinaloa, presenta mayor diversidad y abundancia de especies en octubre a noviembre, por el aumento de productividad a partir de julio, cuando llegan las lluvias a la zona, baja la salinidad y aumentan los nutrientes.

Las zonas de restauración pesquera están presentando un patrón de mayor diversidad y en algunas especies de peces como Constantino, un incremento en la población así como un incremento en talla cuando se dejan sin pescar estas lagunas. Sin embargo, los camarones por su preferencia de hábitat están siendo sujetos a una mayor presión por el uso de “purina” y aún los resultados no son concluyentes para determinar la efectividad pues las malas prácticas en MN tienen arraigo decadal, lo que genera conflicto social.

5. AGRADECIMIENTOS

A las fuentes de financiamiento que están permitiendo esta importante labor: The David & Lucile Packard Foundation, The Wlaton Family Foundation, Alianza WWF-Fundación Carlos Slim, Forest Trends. Así como al grupo de pescadores que realizan el programa de monitoreo en ambos estados: Raúl García Saucedo, Santiago García Vázquez y Miguel Ángel García Hernández - SCPP Única de San Miguel, Eleuterio Rivera Ríos, Armando Pérez Sandoval y José Luis Pérez Hinojosa – SCPP Pescadores de San Miguel Mario Brambilia Rodríguez y Jesus Sandoval Pineda - SCPP Casa Cuna de Pescadero del municipio de Rosamorada Nayarit, José de Jesús Andrade López y José Javier García Moreno – SCPP La Brecha, del Municipio de Escuinapa, Sinaloa y a Carlos Simental Crespo técnico de Sinaloa.

6. LITERATURA CITADA

- ANDRADE-LOPEZ, J. 2006. Tallas, relación longitud-peso y factor de condición de *Eremophilus mutessii* (Siluriformes: Trichomycteridae) en el río Cormechoque y embalse La Copa, Bocayá, Colombia. *Dahlia Rev. Asoc. Colomb. Ictiol.* 9:13-20
- Castillo-Rivera, M. y R. Zárate-Hernández. 2001. Patrones espacio temporales de la abundancia de peces de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. *Hidrobiológica* 11(1): 75-84
- Cavalcante Franco Dias, A., Dini Andreote F., Gouvêa Taketani R, Mui Tsai S., Lúcio Azevedo K. Soares De Melo, I & Dini F Andreote. 2011. Archaeal communities in the sediments of three contrasting mangroves. *J. Soils Sediments*. 11:1466-1476.
- Datta, D. Guha P.y Chattopadhyay R.N.. 2010. Application of criteria and indicators in community based sustainable mangrove management in the Sunderbans, India. *Ocean & Coastal Management*. 53:468-477
- Dinesh, R. y Chaudhuri G. 2013. Soil biochemical/microbial indices as ecological indicators of land use change in mangrove forest. *Ecological Indicators*. 32:253-258
- Dye, A.H. 2006. Persistent effects of physical disturbance of meiobenthos in mangrove sediments. *Marine Environmental Research*. 62:341-355.
- Field, C.D. 1998. Rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. *Marine Pollution Bulletin*. 37(8) 383-392.



- Gotelli N. & Entsminger 2001. Research frontiers in null model analysis. *Global Ecology and Biogeography* 10: 337-343
- Machintosh, D. y. Ashton E. 2002. A review of mangrove biodiversity conservation and management. *Centre for Tropical Ecosystems Research*, final report. 71 págs.
- Mchenga, I.S.S. y M. Tsuchiya. 2008. Nutrient dynamics in mangrove crab burrow sediments subjected to anthropogenic input. *Journal of Sea Research*. 59:103-113.
- Mckee, K., J. Rooth y I. C. Feller. 2007. Mangrove recruitment after forest disturbance is facilitated by herbaceous species in the Caribbean. *Ecological Applications*. 17(6):1678-1693.
- Minchinton, T. 2001. Canopy and substratum heterogeneity influence recruitment of the mangrove *Avicennia marina*. *Journal of Ecology*. 89:888-902.
- Penha-Lopes, G., P. Torres, L. Narciso, S. Cannicci y J. Paula. 2009. Comparison of fecundity, embryo loss and fatty acid composition of mangrove crab species in sewage contaminated and pristine mangrove habitats in Mozambique. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 381: 25-32
- Quiñonez-Velázquez, C y J. A. Mendoza-Guevara. 2009. Abundancia relativa, estructura de tallas y relación longitud-peso de juveniles de lisa Mugil curema en el estero El Conchalito, La Paz, BCS. México. *Ciencia pesquera*. 17 (1): 37-46.
- Rivero, M.S., R. Elías y E. Vallarino. 2005. First survey of macroinfauna in the Mar del Plata Harbor (Argentina), and the use of polychaetes as pollution indicators. *Biología Marina y Oceanografía* 40(2):101-108
- Shervette, V.R., W.E. Aguirre, E. Blacio, R. Cevallos, M. Gonzalez, F. Pozo y F. Gelwick. 2007. Fish communities of a disturbed mangrove wetland and an adjacent tidal river in Palmar, Ecuador. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 72:115-128.
- Sparre, P. y Venema. 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. FAO. 418 pp.
- Santos-Ortega, Y. 2004. Variación estacional de juveniles de camarón rosado Farfantepenaeus duorarum (Burkenroad, 1939) en zonas costeras de la Sonda de Campeche, México. UABCS. La Paz, B.C.S. México. Tesis de licenciatura. 47 págs.
- THATOI, H., B.C. BEHERA, R. R. MISRHA & S. K. DUTTA. 2013. Biodiversity and biotechnological potential of microorganism from mangrove ecosystems: a review. *Ann. Microbio*. 63:1-19
- Wickramasnghe, S. Borin M, Kotagama S. W., Cochard R., Anceno A. y Shipin O. 2009. Multi-functional pollution mitigation in a rehabilitated mangrove. *Ecological Engineering*. 35:898-907.
- ZAR. J. 1999. Biostatistical analysis. 4th edition. Prentice Hall.



IV CONGRESO
NACIONAL

**MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Mesa 4. Sistemas de monitoreo de cuencas.



Extenso ID: 125. Lorelí Carranza-Jiménez ^a, Robert H. Manson ^a, Gabriela Vázquez ^a, Alex Mayer ^b.
NUTRIENTES (NO₃⁻, PR) Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN RÍOS DE PASTIZALES Y CAFETALES DEL CENTRO DE VERACRUZ: UN ENFOQUE DE MONITOREO ESTACIONAL Y EN TORMENTAS.

[Regresar al índice](#)

^a Instituto de Ecología A.C.: Carretera Antigua a Coatepec 351, Xalapa, VER,
email: loreliej@gmail.com, robert.manson@inecol.mx

^b Michigan Technological University, 1400 Townsend Drive, Houghton, MI,
email: asmayer@mtu.edu

RESUMEN

Este estudio comparó factores fisicoquímicos asociados a flujos base y flujos pico en ríos de primer orden de seis microcuencas cafetaleras o de pastizales (de 37 ha a 118 ha de área) del centro de. De abril 2014 a mayo 2015, se midieron mensualmente las variables fisicoquímicas en cada río, tomando las muestras en régimen hidrológico de flujos base y durante flujos pico generados por precipitación pluvial. En los flujos mensuales, los arroyos de cafetales mostraron los niveles más altos de NO₃⁻, mientras que las concentraciones de PR y SST fueron similares entre ambos usos de suelo. Fue evidente que en los pastizales la frecuencia e intensidad de los flujos pico es mayor que en cafetales, alcanzando concentraciones de NO₃⁻ y PR por encima de lo registrado para el uso de suelo y la zona de estudio. En ambos usos de suelo los eventos de precipitación que generaron estos flujos pico derivaron en un aporte considerablemente más alto de NO₃⁻, PR y SST a los ríos en comparación a las concentraciones durante los flujos base tanto en temporada de lluvias como en temporada de secas. Durante el periodo de muestreo, se registró una mayor precipitación total en comparación con la precipitación histórica reportada tanto en temporada de lluvias como en temporada de secas. La relación entre el aumento del nivel del río durante tormentas y las concentraciones de nitratos, fósforo reactivo y SST, no reflejó un comportamiento determinante para cada uso de suelo, observando grandes fluctuaciones de las concentraciones de las tres variables tanto dentro de cada microcuenca como en los eventos de precipitación individuales en cada sitio. Este estudio demuestra la importancia de realizar muestreos con mayor frecuencia y en condiciones de flujos base y flujos pico para entender el impacto que tiene el uso de suelo agropecuario en la calidad del agua que se provee al ecosistema y a la sociedad.

Palabras clave: microcuencas agropecuarias, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos, flujos pico

INTRODUCCIÓN

Transformación de suelos y consecuencias en la biogeoquímica de cuencas

La transformación de bosques para fines agrícolas tiene múltiples impactos ambientales y ecológicos (Neill *et al.*, 2001), incluyendo la composición química del agua (Vitousek *et al.*, 1997; Foley *et al.*, 2005). Entre 2011 y 2012, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2011), reportó para México una tasa anual de cambio del 0.18% y 55% de su superficie territorial destinada al uso agropecuario (1,067,050 Km²). Prácticas como el pastoreo en granjas lecheras y la aplicación ineficiente de abono y fertilizantes orgánicos e inorgánicos, sumada a factores hidrogeológicos como la escorrentía superficial (Caruso *et al.*, 2013), pueden generar fuentes no puntuales (difusas) de contaminación. Estas se generan con el arrastre y lixiviación del exceso de



nutrientes (Mulholland *et al.*, 1997; Neill *et al.*, 2001; Wu *et al.*, 2013) y sedimentos transportándolos a los ríos. Cuando los nutrientes y sedimentos alcanzan altos niveles en aguas superficiales, se consideran como contaminantes (Carpenter *et al.*, 1998).

Los compuestos disueltos y en suspensión son lixiviados de fuentes no puntuales, de los que se desconoce el volumen descargado y el lugar exacto de la descarga a los ríos (Cotler & González, 2010). Estos compuestos pueden alcanzar altos niveles de concentración en los ríos a medida que incrementa el caudal a causa de la escorrentía por tormentas (Belval *et al.*, 1999). En este sentido, la agropecuaria y el cambio de uso de suelo son considerados como la mayor fuente de contaminación no puntual, disminuyendo así la calidad del agua y degradando ecosistemas acuáticos (Caruso *et al.*, 2013).

En México, las aguas superficiales se encuentran contaminadas desde un 27.6% en el caso de contaminación por sólidos suspendidos totales (SST) y hasta un 77.3% por exceso de materia orgánica que provoca disminución del oxígeno disuelto. Esta contaminación de aguas superficiales proveniente fuentes puntuales y no puntuales, varía en un gradiente que va desde “aceptable” hasta “fuertemente contaminadas”. La región Golfo Centro, a la que corresponde Veracruz, el 10.5% de las aguas superficiales presentan algún grado de contaminación por exceso de SST y el 79.5 % presentan menor contenido de oxígeno disuelto como efecto de diferentes grados de contenido de materia orgánica (CONAGUA, 2014). Cotler y González (2010), modelaron el potencial de contaminación difusa en todas las cuencas de México, encontrando que las cuencas con altos valores de potencial de contaminación, pueden estar reflejando el porcentaje de cobertura agrícola de esas cuencas (entre 45-65%), o bien, la concentración de superficie agrícola intensiva en donde hay un alto consumo de agroquímicos. Ríos expuestos a la contaminación por la intensificación de actividades agropecuarias como ocurre en el centro de México, representan una amenaza para la seguridad hídrica de humanos y la biodiversidad de ecosistemas de agua dulce (Vorosmarty *et al.*, 2010; Woodward *et al.*, 2012).

Estacionalidad y flujo superficial

Las concentraciones de SST, nitratos y PR en los ríos siguen patrones estacionales asociados al caudal, variando en escalas largas (estaciones del año) y escalas cortas (horas) (Donohue *et al.*, 2005; Wei *et al.*, 2013). Estos patrones, dependen de la magnitud, duración y época de los eventos de precipitación (Pionke *et al.*, 1999) y varían con el uso de suelo y la presencia y ausencia de vegetación ribereña, que puede ser un filtro o una fuente de material suspendido en los ríos (Malanson, 1993). Debido a que el nitrato se disuelve (David *et al.*, 2000; Tesoriero *et al.*, 2009), este nutriente se transporta hacia los ríos a lo largo de todo el año y también es rápidamente transportado durante tormentas (Borah *et al.*, 2003; Zhu *et al.*, 2011). En la cuenca alta de La Antigua, se ha registrado que las concentraciones de nitratos varían según la época del año, incrementando en la época de lluvias y mostrando valores menores durante las secas (Vázquez *et al.*, 2011; García-García *et al.*, 2012). Aun cuando algunos fertilizantes son asimilados fácilmente por los cultivos, el incremento en concentraciones de nitratos en el agua puede coincidir con altas dosis de aplicación de estos fertilizantes (Allan *et al.*, 2007) y con la temporada de aplicación (Wu *et al.*, 2013).

El fósforo con origen en fertilizantes inorgánicos y abono, puede ser transportado en forma disuelta como PR (Allan *et al.*, 2007), adhiriéndose fácilmente a las partículas del suelo durante el proceso de infiltración, por lo que el transporte de este compuesto a los ríos ocurre principalmente con el arrastre de suelos ricos en P durante lluvias fuertes (Gburek *et al.*, 1999; Stutter *et al.*, 2008). En sistemas agropecuarios, la descarga de nutrientes y SST durante tormentas puede estar fuertemente influenciada por la alteración en los procesos hidrológicos de la cuenca, la compactación del suelo, la erosión, la destrucción de vegetación ribereña, factores que incrementan la escorrentía en estos sistemas (Tufekcioglu *et al.*, 2013). De acuerdo con esto, es de esperarse en suelos degradados por actividades agrícolas, la escorrentía sea el factor más importante de movilización de NO_3^- , PR y SST a los ríos durante flujos pico (Mulholland *et al.*, 1997; Wei *et al.*, 2013).



Poco se sabe sobre la relación entre los patrones de precipitación y los flujos de nitratos y PR en el ríos durante los tormentas; o de la relación que pueda haber entre la intensificación de usos de suelo agrícola y la transferencia de estos nutrientes a sus afluentes. Para entender estos comportamiento de solutos y las concentraciones que son exportadas por cuencas impactadas por humanos, es necesario hacer estudios en zonas muy alteradas (Burns, 2005) como pastizales y en áreas manejadas que aún conservan parte de su vegetación natural, como los cafetales de sombra y en mayores condiciones del caudal, sean estos flujos base y flujos pico. La hipótesis general que se plantea en este estudio es que las concentraciones de SST, NO_3^- y PR en los ríos, serán mayores en áreas dominadas por sistemas agrícolas con mayor uso de abonos o fertilizantes y durante periodos con mayor lluvia, tanto a nivel estacional (lluvias versus secas) y como a nivel de eventos de lluvia específicos (flujos pico). El principal objetivo fue monitorear y comparar las concentraciones de sólidos en suspensión (SST), nitratos (NO_3^-) y fósforo reactivo (PR) asociados a flujos base y flujos pico en arroyos de microcuencas con pastizales y cafetal de sombra a lo largo de un año, e identificar las correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra ubicada entre los 1,100 y 1,700 msnm (Figura 1) en la cuenca del río La Antigua en la región central del estado de Veracruz (entre $19^\circ 05' - 19^\circ 34' \text{N}$ y $96^\circ 06' - 97^\circ 16' \text{O}$), la cual abarca un rango altitudinal de los cero a los 4,200 msnm. La principal actividad agrícola y económica es el cultivo de café con 1.2 % de cobertura terrestre, caña de azúcar con 5.1% de cobertura y la ganadería lechera con una cobertura del 21.8% (Muñoz-Villers, 2008). El clima en la región va de cálido subhúmedo con lluvias de verano, cálido húmedo y semicálido húmedo con lluvias abundantes todo el año y templado húmedo, hasta el semifrío húmedo con lluvias todo el año; con temperatura media anual de 18°C y precipitación anual que va de los 1500 a los 2500 mm (Arriaga *et al.*, 2002). El régimen meteorológico general para el Golfo de México se divide en temporada seca con sistemas frontales (nortes) de noviembre a abril y temporada de lluvias de mayo a octubre con tormentas y ciclones (Muñoz-Villers, 2008; 2011). Las microcuencas de estudio fueron delimitadas sobre el mapa de uso de suelo y vegetación a escala 1:50,000 de la parte alta de La Antigua (1100 a 1700 msnm) realizado por Mokondoko *et al.* (2013; Figura 1).

Muestreos y análisis fisicoquímicos

En las seis microcuencas se llevaron a cabo dos tipos de muestreo, uno para el muestreo mensual de flujos base y el segundo para muestreo de flujos pico. Los muestreos mensuales se hicieron por 14 meses (abril 2014 a mayo 2015) obteniendo datos de las variables fisicoquímicas durante periodos de flujo base de los ríos. El otro muestreo de las variables fisicoquímicas fue durante los flujos pico de los ríos, provocados por eventos de precipitación que provocaran el incremento de los cauces a lo largo de la temporada de lluvias. Todas las colectas se hicieron a la salida de cada microcuenca a excepción de C1, en donde se instaló el punto de muestreo antes de la salida de la microcuenca con el fin de evitar fuentes puntuales de contaminación.

Variables fisicoquímicas mensuales

Se midió la descarga (Q) con un medidor mecánico tipo Pygmy y un procesador AquaCalc 5000 (certificado por USGS). Para esto se fijó un transecto transversal en cada río y se dividió en secciones de 2 a 15 cm, dependiendo del ancho de cada río y se siguieron los métodos estandarizados de la USGS. En cada visita mensual a cada sitio, se colectaron por triplicado muestras de 500 ml de agua en botellas de polietileno (HDPE) para el análisis de NO_3^- , PR y SST, siguiendo las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la Asociación de salud pública Americana (APHA-AWWA-WPFC, 2005). Las muestras fueron preservadas a 4°C hasta su análisis, normalmente en un periodo no mayor a 48 horas. Para el cálculo de sólidos en suspensión

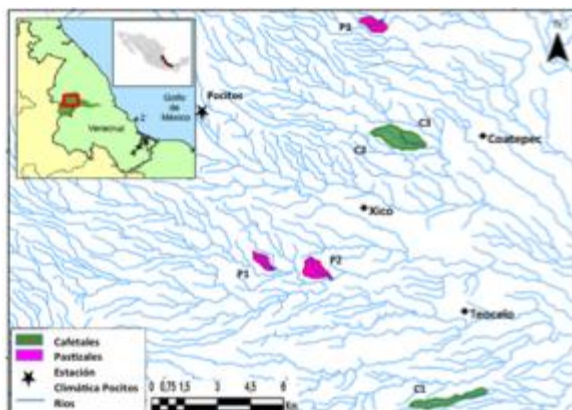


Figura 1. Microcuencas seleccionadas. C1, C2, C3 son cafetales; P1, P2, P3 son pastizales; estación climática en Pocitos. Ver. marcada con

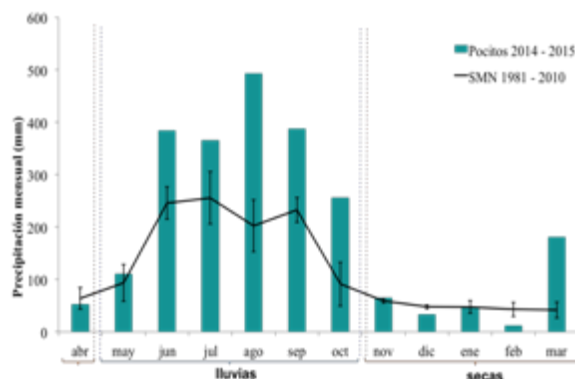


Figura 2. Promedio histórico de precipitación (1981-2010) de tres estaciones de SMN dentro de la zona de estudio (barras de error estándar)

(SST), se siguió el método gravimétrico filtrando 100 ml de cada muestra con filtros de membrana de poliamida con poro de $0.45\mu\text{m}$. Los nitratos se midieron por el método colorimétrico de brucina (límite de detección 0.002 mg L^{-1}), y fósforo reactivo (PR) por el método colorimétrico de ácido ascórbico (límite de detección 0.004 mg L^{-1}), APHA (2005).

Variables fisicoquímicas en flujos pico

Utilizando el diseño vertical de muestreo progresivo para aguas residuales (FAO,1993 en: Camargo Hernández *et al.*, 2010), se obtuvieron muestras de agua conforme al aumento del nivel del río en tormentas. En cada sitio se fijó una torre en la que se colocaron botellas de HDPE con un sistema de llenado auto-sellable en un arreglo vertical con intervalos de 10 cm. Las botellas se dejaron instaladas con 5 ml de ácido sulfúrico para detener actividad biológica que pudiera afectar las concentraciones de nitratos (EPA, 1979). Las muestras fueron recogidas en un periodo no mayor a 48 horas y preservadas a 4°C siguiendo el mismo protocolo de cuantificación de nutrientes y SST que las muestras de flujos base. Por medio de datos colectados por limnógrafos (Solinst Leveloggers), instalados en cada uno de los arroyos estudiados, se revalidaron los eventos de flujos pico que fueron muestreados. Durante el periodo de estudio los limnógrafos registraron los niveles de los ríos con frecuencias de 30 minutos. También se hicieron regresiones lineales entre los niveles máximos del río (registrados por los limnógrafos) y las alturas de las últimas botellas que capturaron muestras de cada evento de flujos para cada sitio. Con el fin de conocer las dosis de fertilizantes aplicadas a los cafetales y la densidad de ganado que podría estar aportando nutrientes y SST en los pastizales, se entrevistó a los dueños de cafetales y pastizales de las microcuencas de estudio por medio de entrevistas semi-estructuradas.

Caracterización del régimen de precipitación durante el periodo de muestreo

Se utilizaron los datos mensuales de precipitación (a cada 30 minutos) de una estación climática instalada en la localidad de Pocitos, localizada a una distancia de entre 9 y 19 km de las microcuencas estudiadas (Figura 1). Se usó la precipitación total mensual para diferenciar la estación seca y de lluvias durante el periodo de muestreo y se compararon con registros históricos de 1981 a 2010 del Servicio Meteorológico Nacional (SMN; CONAGUA) ubicadas en Xalapa, Teocelo y Briones.

Análisis estadístico

La normalidad de los datos obtenidos por uso de suelo y por variable fisicoquímica se verificó mediante el método estadístico Shapiro-Wilk (Zar, 2010). La homogeneidad de varianzas se



verificaron con una prueba de Levene. Se realizó una transformación logarítmica de las variables fisicoquímicas (\log_{10}) y se aplicaron estadísticos paramétricos. Las correlaciones entre parámetros fisicoquímicos se exploraron con regresiones lineales y pruebas de correlación lineal de Pearson. Se identificaron las diferencias entre los parámetros de flujo base y flujos pico con un análisis de medidas repetidas y la prueba de honestidad de varianzas Tukey. Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa R Studio (© 2009-2014 R Studio) y los gráficos en Excel (© 2010 Microsoft Corporation) y MiniTab17 (© 2013, 2015 Minitab, Inc.).

RESULTADOS

Precipitación mensual en la zona de estudio

En comparación con los registros históricos de precipitación de SMN (Figura 2), la precipitación en la temporada seca en el periodo de muestreo fue de 391.2 mm, representando un incremento del 16.3 % comparado con 336.3 mm del promedio histórico para la misma temporada. En la temporada de lluvias la precipitación en el periodo de muestreo fue de 1997.7 mm, representando un incremento del 69.1 % comparado con 1181.3 mm del promedio

Variación mensual y estacional de las variables fisicoquímicas

Las concentraciones más altas de nitratos en flujos base se presentaron en los cafetales ($F=162.13$, $p<0.001$). Sin embargo, para Q y las concentraciones de PR y SST no se diferenciaron entre ambos usos de suelo ($F=2.55$, $p=0.11$; $F=3.18$, $p=0.08$; $F=2.56$, $p=0.11$; Cuadro 1), descartando el resto de la hipótesis que plantea concentraciones más altas PR en cafetales y mayores concentraciones de SST en pastizales. Considerando todos los meses de la temporada de lluvias y todos los meses de la temporada de secas sólo se cumplió parcialmente, encontrando diferencias estacionales de PR sólo en los pastizales, siendo éstas más bajas en la estación de lluvias ($F= 5.26$, $p<0.046$). Los nitratos y SST no mostraron tener variación estacional en ninguno de los usos de suelo (Cuadro 2). Entre las dos temporadas, tanto los cafetales como los pastizales tuvieron mayor descarga en la época de lluvias que en secas ($F=9.29$, $p<0.05$ cafetal; $F=8.46$, $p<0.05$ pastizales; Cuadro 2).

Correlaciones entre parámetros fisicoquímicos y con la descarga

No se encontró correlación entre la descarga (Q) y los parámetros fisicoquímicos de las muestras de flujo base más que con PR en los pastizales. En flujos base, SST y PR presentaron una correlación negativa en ambos usos de suelo. El análisis sugiere que durante los flujos pico en cafetales, el promedio de nitratos por tormenta incrementa con la carga de SST transportados a los arroyos (Cuadro 3), pero no se presenta el mismo comportamiento en los pastizales. En estos últimos, PR es el nutriente que incrementa conforme las concentraciones de SST incrementan en los río (Cuadro 3).

Comportamiento de nutrientes durante el ascenso del nivel del río

Cuadro 1. Promedio de las variables mensuales por uso de suelo; (\pm e. estándar) de nitratos, fósforo reactivo (PR), sólidos suspendidos (SST) y descarga (Q). Letras diferentes denotan diferencias significativas entre uso de suelo.

	NO_3^- (mg L^{-1})	PR (mg L^{-1})	SST (mg L^{-1})	Q (L s^{-1})
Cafetales	$1.374 \pm 0.20(\text{a})$	$0.007 \pm 0.0001(\text{a})$	$21.96 \pm 2.53(\text{a})$	$26.73 \pm 4.41(\text{a})$
Pastizales	$0.115 \pm 0.013(\text{b})$	$0.006 \pm 0.0001(\text{a})$	$21.179 \pm 5.78(\text{a})$	$18.51 \pm 2.91(\text{a})$

Cuadro 2. Valores del análisis de correlación de Pearson entre los parámetros mensuales fisicoquímicos (NO_3^- , PR y SST) con la descarga (Q) por uso de suelo. Se marcan con un asterisco los valores más altos del análisis

	Cafetal		Pastizal	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
NO_3^- (mg L^{-1})	$1.534 \pm 0.31(\text{a})$	$1.236 \pm 0.24(\text{a})$	$0.121 \pm 0.024(\text{b})$	$0.109 \pm 0.012(\text{b})$
PR (mg L^{-1})	$0.006 \pm 0.001(\text{a})$	$0.008 \pm 0.001(\text{a})$	$0.004 \pm 0.001(\text{a})$	$0.006 \pm 0.001(\text{b})$
SST (mg L^{-1})	$22.25 \pm 3.74(\text{a})$	$26.23 \pm 7.98(\text{a})$	$26.17 \pm 5.86(\text{a})$	$25.5 \pm 10.3(\text{a})$
Q (L s^{-1})	$38.36 \pm 8.34(\text{a})$	$16.75 \pm 2.64(\text{b})$	$26.44 \pm 5.47(\text{a})$	$11.72 \pm 1.73(\text{b})$

$p < 0.001$

Se muestrearon un total de 62 flujos pico a lo largo del periodo del estudio, identificados como eventos cuando por lo menos una botella de la torre se llenó por el incremento del caudal. Los arroyos de las microcuencas con pastizal tuvieron el mayor número de flujos pico, registrando un promedio de diez eventos en este uso de suelo entre el inicio del muestreo en agosto 2014 y mayo 2015; para el cafetal, el promedio de eventos en el mismo periodo fue de siete. En los cafetales, ni los nitratos ni el PR mostraron un patrón de incremento o disminución con relación al nivel del río. Los sólidos suspendidos totales en general incrementan con el nivel del río. En el caso de los pastizales las concentraciones de nitratos no mostraron un claro incremento o disminución con el nivel del río. PR tampoco presenta un claro incremento con el nivel del río. Los SST muestran generalmente una tendencia a incrementar medida que crecen, cafetales. Entre los el flujo base y los flujos de suelo, los flujos pico incremento

concentraciones de ($F(4,123)=166.8$, ($F(4,123)=51.9$, ($F(4,123)=68.5$, 3), diferenciándose lo medido en los flujos las concentraciones flujos pico entre usos

Cuadro 3. Análisis de correlación de Pearson entre los nutrientes y SST por uso de suelo en muestreo mensual y con los flujos pico. Se marcan con un asterisco los valores más altos del análisis

	Cafetal	Pastizal
NO_3^- mensual (mg L^{-1})	$r = -0.117$ $p = 0.477$	$r = 0.161$ $p = 0.327$
PR mensual (mg L^{-1})	$r = -0.413^*$ $p = 0.009^*$	$r = -0.482^*$ $p = 0.002^*$
NO_3^- picos (mg L^{-1})	$r = 0.564^*$ $p = 0.010^*$	$r = 0.183$ $p = 0.333$
PR picos (mg L^{-1})	$r = 0.289$ $p = 0.217$	$r = 0.436^*$ $p = 0.016^*$

en los arroyos a igual que en los muestreo hechos en pico en ambos usos representaron un significativo en las nitratos ($p < 0.0001$), PR ($p < 0.0001$) y SST ($p < 0.0001$); Figura drásticamente con base, pero no entre medidas en los de suelo.

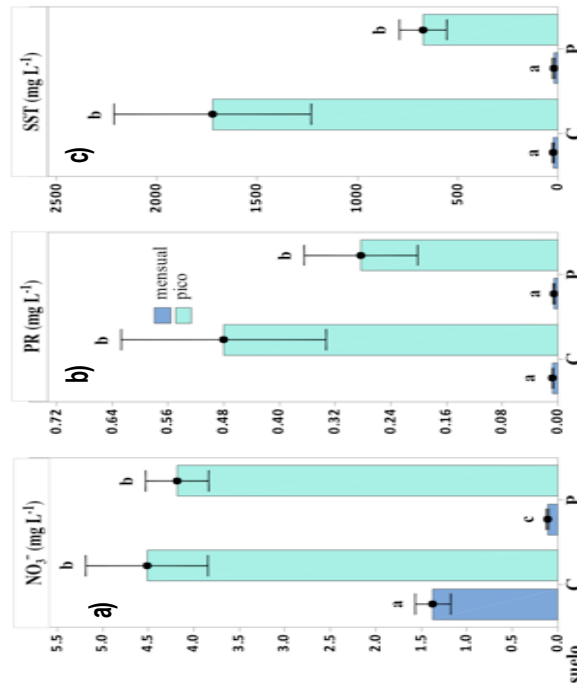


Figura 3. a) NO_3^- ; b) PR; c) y SST en flujos base y pico en ambos usos de suelo; Las líneas indican error estándar y las letras diferencias significativas ($p < 0.001$) entre uso de suelo ($n=13$ flujos base; $n=7$ picos en cafetales; $n=10$ picos en pastizales).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Variación de concentraciones de NO_3^- , PR y SST en flujos base y flujos pico

En este estudio se demostró que los eventos de precipitación que generaron escorrentía y flujos pico, ocasionaron una considerable fuente de aportación de nitratos (NO_3^-), fósforo reactivo (PR) y sólidos suspendidos totales (SST) a los ríos de ambos usos de suelo. El incremento en las concentraciones de nitratos durante flujos pico, se relaciona con las fuentes presentes en toda la microcuenca, estas pueden ser los fertilizantes aplicados tanto en suelos como de tipo foliar, por la cantidad de nitratos contenidos en la lluvia y además por el flujo que escurre de las plantas, arrastrando materia orgánica y nitratos depositados por deposición atmosférica. En los cafetales, aunque las concentraciones de nitratos medidas en los flujos pico fueron más altas que en flujos base, éstas no superan lo reportado por Martínez *et al.* (2009) y se encuentran dentro del promedio reportado en otros ríos en microcuencas con el mismo uso de suelo (Martínez *et al.*, 2009; Vázquez *et al.*, 2011; García-García *et al.*, 2012). Aunque en los cafetales las concentraciones de PR medidas durante los flujos base (0.007 mg L^{-1}) se encontraron por debajo de lo reportadas por dichos autores, los flujos pico generaron



un aporte de PR a los arroyos mayor que el nivel máximo medido en los flujos base, con concentraciones promedio de 0.48 mg L^{-1} y alcanzando una máxima de 2.04 mg L^{-1} y representa un incremento de casi 30 veces respecto a lo reportado en cafetales de la zona en periodos de flujo base. Este incremento de PR durante tormentas, indica que las fuentes no puntuales de este compuesto, están siendo arrastradas por la precipitación, ya sea por erosión de los suelos ricos en fósforo y o por la remoción de fertilizantes (Bowes *et al.*, 1967). En cuanto al contenido de SST durante los eventos de flujo pico, el promedio fue de $1\,722 \text{ mg L}^{-1}$ incrementando de casi dos órdenes de magnitud con respecto a lo medido en los flujos base y lo reportado Martínez *et al.* (2009); Vázquez *et al.* (2011); García-García *et al.* (2012). Este incremento en SST durante flujos pico, puede ser el producto de la remoción de suelos por prácticas de control de arvenses y la siembra de plantas nuevas, exponiendo los suelos.

En el caso de los pastizales, las cifras de nitratos reportadas en estudios anteriores (0.25 mg L^{-1} en promedio; Muñoz-Villers, 2008; Martínez *et al.*, 2009) son superadas en tres ordenes de magnitud por el promedio medido durante los flujos pico. El PR también presentó un comportamiento similar en los pastizales, en donde el incremento se dio desde 0.006 mg L^{-1} en las mediciones mensuales en flujos base, hasta 0.288 mg L^{-1} en los flujos pico, contrastando también con los resultados de los autores anteriores. El incremento de SST en flujos en este uso de suelo fue 30 veces mayor que el promedio en flujos base, también sobrepasando los niveles reportados para ríos en pastizales por Muñoz-Villers (2008), Martínez *et al.* (2009) y Vázquez *et al.* (2011). Los pastizales se reportan como sistemas agropecuarios que exportan bajas concentraciones de nitratos, comparado con los cafetales (Muñoz-Villers, 2008; Martínez *et al.*, 2009; Vázquez *et al.*, 2011; García-García *et al.*, 2012), lo cual tiene que ver con la capacidad de los organismos del suelo de fijar los nitratos producidos en pastizales (Campos, 2010) y a que no se aplican agroquímicos. En contraste, en los suelos de cafetales, la producción y consumo de nitratos, está mediada por efectos asociados al contenido de carbono, que hace que las comunidades heterótrofas sean menos competitivas incrementando la nitrificación y por lo tanto la abundancia de nitratos (Campos, 2010). Olarewaju *et al.* (2009) describió que las partes menos profundas del suelo presentan correlación positiva con las concentraciones de nitratos en los ríos de suelos agrícolas. El exceso de este nutriente en las partes más superficiales del suelo (Elrashidi *et al.*, 2005), cuya fuente puede ser la aplicación de fertilizantes, biomasa en descomposición y actividad microbiana, provoca que este compuesto se lixivie rápidamente durante tormentas en cafetales y en pastizales. Así, la deposición de abono por ganado a lo largo de la cuenca, es rápidamente transportado a los arroyos por escorrentía en tormentas en cuáles casos, se contribuyen a las altas concentraciones tanto de nitratos como de PR (Bowes *et al.*, 1967; Olarewaju *et al.*, 2009).

Las diferencias entre cafetales y pastizales en el muestreo de flujos base podrían ser el resultado de dos factores: 1) la alta tasa de aplicación de nitrógeno proveniente de fertilizantes en los cafetales, que afecta el flujo de NO_3^- en sistemas cafetaleros (Campos, 2010); y 2) el alto contenido de materia orgánica presente en cafetales como fuente importante de nitrógeno y de fósforo (Geissert *et al.*, 2008), mientras que en los pastizales la fuente natural de nutrientes en flujos base está limitada a orígenes biológicos y atmosféricos (Bormann *et al.*, 1967). En este estudio, tanto la tasa de aplicación de fertilizantes como el alto contenido de materia orgánica podrían estar influyendo en las altas concentraciones de nitratos en cafetales. En cambio, en los pastizales, ya que en los pastizales no se presentan ninguna de estas características, se puede asumir que las bajas concentraciones medidas a lo largo del muestreo mensual de flujos base, se deban a que la descomposición de materia orgánica sea muy baja, a que no esté ocurriendo descomposición orgánica en estos suelos o que el agua subsuperficial es el principal reservorio de éste nutriente (Tesoriero *et al.*, 2009).

Variación estacional de nutrientes y SST

Las concentraciones de nutrientes y sólidos en suspensión en los dos usos de suelo en la temporada de lluvias y seca difieren con lo reportado por Muñoz-Villers (2008) quien encontró marcadas diferencias entre las dos temporadas en tres diferentes usos de suelo, pastizales, bosque primario y bosque secundario. La discrepancia entre ésta y la investigación de Muñoz-Villers, puede deberse a la



variación en el régimen de precipitación en la zona de estudio. Holwerda *et al.* (2010) reportaron los patrones de precipitación para la región central de Veracruz, los cuales indican que en los meses de mayo a octubre se presenta una temporada de lluvias y de noviembre a abril se presenta una temporada de secas. Estos patrones de precipitación, no coincidieron en su totalidad con los presentados en el periodo de muestreo del presente estudio, en donde los únicos meses con una clara disminución en la precipitación fueron abril 2014 y de noviembre a febrero del 2015. La comparación que se hizo entre los patrones de precipitación histórica de tres estaciones meteorológicas alrededor del área de estudio, con la precipitación registrada en el periodo de muestreo demostró que hubo meses con más del 100% de incremento de precipitación, como agosto, octubre y marzo. Durante el periodo de muestreo, la temporada de secas tuvo más del 16% de la precipitación histórica registrada, y durante la temporada de lluvias, la precipitación incrementó hasta en un 69% comparado con los datos históricos. El incremento en la precipitación en varios de los meses, puede ser un factor muy importante en la dinámica estacional de los nutrientes, como lo reportan Chang *et al.* (2001). Bajo condiciones más húmedas y con temperaturas más elevadas, el incremento en el flujo superficial podría tener un efecto positivo en la calidad del agua, diluyendo los nutrientes provenientes de fuentes no puntuales. Sin embargo, mayores eventos de precipitación con corta duración, también pueden generar un incremento en la erosión y en cargas de nutrientes asociados a sedimentos.

Las hipótesis iniciales correspondientes a los patrones estacionales de las variables medidas en ambos usos de suelo, estaban basadas en la relación que existe entre la precipitación y la exportación de nutrientes, sin embargo, los resultados pudieron ser afectados por el incremento en la precipitación durante el periodo de muestreo como se mencionó anteriormente. El análisis de los patrones de concentraciones de nutrientes y SST se realizó tomando en cuenta seis meses de temporada de lluvias y seis meses de temporada de secas, similar a como lo reporta Muñoz-Villers (2008). En cambio García-García *et al.* (2012) y Ramos-Escobedo *et al.* (2001) llevaron a cabo la evaluación de patrones estacionales de nutrientes y SST tomando en cuenta sólo los meses de mayor sequía y de mayor precipitación. Cuando el análisis se hace de esta manera, con base al calendario meteorológico, en lugar de en respuesta al comportamiento de variables climatológicas, las diferencias estacionales sí son notorias, aunque no para todos los parámetros fueron las esperadas, como por ejemplo los nitratos en los cafetales que no fueron mayores en la temporada de lluvias como se esperaba pero coincide con el análisis realizado considerando todos los meses del muestreo (de cada temporada). En cambio, las diferencias observadas de este nutriente en los pastizales, en donde las concentraciones de nitratos fueron más altas en la temporada seca podrían estar fuertemente relacionadas con un efecto de concentración de este nutriente en la temporada de secas, es decir, el nitrato se sigue lixiviando como es su proceso natural, pero el flujo del río es menor, por lo que en menores descargas se pueden encontrar mayores concentraciones de nitratos por efecto de acumulación. Este patrón estacional en los pastizales coincide con lo reportado por Muñoz-Villers (2008) tanto para nitratos como para PR en los pastizales. Un factor importante en los pastizales, puede ser el ingreso de hojarasca durante la temporada de secas, en la que se presentan meses con "Nortes", que arrastran residuos de plantas y otra materia orgánica con los vientos (Muñoz-Villers, 2008).

Los cafetales y pastizales evaluados, presentan comportamientos similares en cuanto a la descarga de nitratos, fósforo reactivo y sólidos suspendidos totales, en periodos de flujos pico en los ríos. Estas similitudes difieren del comportamiento de dichas variables fisicoquímicas durante periodos de flujo base en los ríos. Los cafetales constantemente mostraron mantener concentraciones elevadas de nitratos y bajas concentraciones de fósforo reactivo en flujos base. En cambio, los pastizales, a lo largo del muestreo mensual de flujos base, no mostraron incremento en los nutrientes relacionados con usos de suelo agropecuarios. Sin embargo, los eventos de precipitación en este uso de suelo, generaron un incremento en las concentraciones de nutrientes y sólidos suspendidos totales, que exceden las concentraciones encontradas en los cafetales de sombra en los que hay una aplicación directa de nutrientes por prácticas de fertilización. El número de eventos de precipitación que tuvieron efecto en los pastizales fueron más que los que afectaron la descarga de los ríos de cafetales, y también reflejaron mayor escurrimiento hacia los ríos. Tanto en pastizales como en los cafetales, las descargas de



nutrientes por flujos pico pueden representar una fuente considerable de exportación de nitratos, fósforo reactivo y sólidos suspendidos totales a los ríos de microcuencas con uso agropecuario y por consecuencia, a los cuerpos de agua en donde estos desembocan. Los pastizales para pastoreo que se estudiaron, ofrecen acceso a los ríos sin restricciones al ganado, lo que conlleva la erosión del suelo contiguo a los ríos. Además, la ausencia de franjas con vegetación ribereña en este uso de suelo que presenta zonas con suelo compactado por el pastoreo, influye en el rápido escurrimiento de los flujos superficiales de las cuencas, generados por tormentas.

El análisis de las descargas de nutrientes en ambos usos de suelo para identificar patrones estacionales, requiere de la evaluación de los regímenes de precipitación locales que influyen en la humedad de los suelos y flujo de aguas subterráneas. Por otra parte, estudiar el comportamiento de los nutrientes y SST durante el ascenso de los arroyos es muy complejo, para poder relacionar la variación estacional por flujo pico con las fuentes de nutrientes y SST, falta información del resto de la cuenca, como tasas de infiltración, compactación del suelo, análisis de nutrientes en suelos y precipitación captada en cada microcuenca. Los datos obtenidos de este estudio, pueden complementar otras investigaciones en la zona y generar modelos de exportación de nutrientes y sólidos en suspensión en diferentes niveles del flujo superficial, con el fin de evaluar los riesgos en el detrimento de la calidad del agua tanto cuenca arriba como cuenca abajo. También para generar estrategias de manejo de ambos usos de suelo y evitar que las fuentes de contaminación no puntuales propias de estos usos agropecuarios.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT, NATCAP, Dr. Robert Manson, Dra. Gabriela Vazquez, Dr. Alex Mayer, Dr. Daniel Geissert, Dr. Gonzalo Campos, Dra. Patricia Gerez y Dr. Juan Carlos López, Sandra Rocha, Lourdes Cruz, Ninfa Portilla, Ariadna Martínez y Daniela Cela. A Pierre Mokondoko, Alejandro Domínguez, Riguel Carrera, León Gómez, Víctor Castelazo, Raúl Gómez, César Aguilar.

Literatura citada

- Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*: Springer Science & Business Media.
- APHA-AWWA-WPFC. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21 ed.).
- Arriaga, L., Aguilar, V., & Alcocer, J. (2002). *Regiones Hidrológicas Prioritarias. Catálogo De Metadatos Geográficos*.
- Belval, D. L., & Sprague, L. A. (1999). *Monitoring Nutrients in the Major Rivers Draining to Chesapeake Bay*: US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Borah, D., Bera, M., & Shaw, S. (2003). Water, Sediment, Nutrient, and Pesticide Measurements in an Agricultural Watershed in Illinois During Storm Events. *Transactions of the ASAE*, 46(3), 657-674.
- Bormann, F. H., & Likens, G. E. (1967). Nutrient Cycling. *Science*, 155(3761), 424-429.
- Bowes, M. J., House, W. A., Hodgkinson, R. A., & Leach, D. V. (2005). Phosphorus-Discharge Hysteresis During Storm Events Along a River Catchment: The River Swale, UK. *Water Res*, 39(5), 751-762. doi: 10.1016/j.watres.2004.11.027
- Bowes, M. J., Smith, J. T., & Neal, C. (2009). The Value of High-Resolution Nutrient Monitoring: A Case Study of the River Frome, Dorset, UK. *Journal of Hydrology*, 378(1-2), 82-96. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.09.015>
- Boyd, R. A. (1996). Distribution of Nitrate and Orthophosphate in Selected Streams in Central Nebraska. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 32(6), 1247-1257. doi: 10.1111/j.1752-1688.1996.tb03494.x
- Burns, D. (2005). What Do Hydrologists Mean When They Use the Term Flushing? *Hydrological Processes*, 19(6), 1325-1327. doi: 10.1002/hyp.5860



- Camargo Hernández, J., E. , & Franco, V. (2010). Procesos De Erosión- Sedimentación En Cauces Y Cuencas. In J. D. Brea & F. Balocchi (Eds.), *Programa Hidrológico Internacional De La Unesco Para América Latina Y El Caribe* (Vol. 22). Uruguay: UNESCO.
- Campos, C. A. (2010). Response of Soil Inorganic Nitrogen to Land Use and Topographic Position in the Cofre De Perote Volcano (Mexico). *Environ Manage*, 46(2), 213-224. doi: 10.1007/s00267-010-9517-z
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559-568. doi: 10.2307/2641247
- Caruso, B. S., O'Sullivan, A. D., Faulkner, S., Sherratt, M., & Clucas, R. (2013). Agricultural Diffuse Nutrient Pollution Transport in a Mountain Wetland Complex. *Water Air and Soil Pollution*, 224(10), 21. doi: 10.1007/s11270-013-1695-x
- Chang, H., Evans, B. M., & Easterling, D. R. (2001). The Effects of Climate Change on Stream Flow and Nutrient Loading1: Wiley Online Library.
- CONAGUA. (2014). Estadística Del Agua En México (pp. 70). Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. .
- Cotler, H., & González, D. (2010). Contaminación Potencial Difusa Por Actividad Agrícola. *Las Cuencas Hidrográficas de México. INECC*.
- David, M. B., & Gentry, L. E. (2000). Anthropogenic Inputs of Nitrogen and Phosphorus and Riverine Export for Illinois, USA. . *Journal of Environment Quality*, 29(2), 494-508.
- Donohue, I., Styles, D., Coxon, C., & Irvine, K. (2005). Importance of Spatial and Temporal Patterns for Assessment of Risk of Diffuse Nutrient Emissions to Surface Waters. *Journal of Hydrology*, 304(1-4), 183-192. doi: 10.1016/j.jhydrol.2004.10.003
- Elrashidi, M. A., Mays, M. D., Fares, A., Seybold, C. A., Harder, J. L., Peaslee, S. D., & VanNeste, P. (2005). Loss of Nitrate-Nitrogen by Runoff and Leaching for Agricultural Watersheds. *USDA-ARSUNL Faculty*, 152, 969-984.
- EPA. *Field Sampling Guidance Document*. Richmond, California. EPA. (1979). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes (pp.491). FAO. (2011). Agri-Environmental Indicators. Retrieved 03-26-2015, 2015:<http://faostat3.fao.org>
- Foley, J., A., DeFries, R., Asner, G., P., *et al.* (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309, 570-574.
- García-García, P. L., Martínez-Jerónimo, F., Vázquez, G., Favila, M. E., & Novelo-Gutiérrez, R. (2012). Effects of Land Use on Water Quality and *Ceriodaphnia Dubia* Reproduction. *Hidrobiológica*, 22(3), 229-243.
- Gburek, W. J., & Folmar, G. J. (1999). Flow and Chemical Contributions to Streamflow in an Upland Watershed: A Baseflow Survey. *Journal of Hydrology*, 217(1-2), 1-18. doi:10.1016/s0022-1694(98)00282-0
- Geissert, D., & Ibañez, A. (2008). Calidad Y Ambiente F Sico-Qu Mico De Los Suelos . In R. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina & K. Mehltreter (Eds.), *Agroecosistemas Cafetaleros De Veracruz*.
- 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(1-2), 84-96. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.01.012
- Malanson, G. P. (1993). *Riparian Landscapes*: Cambridge University Press.
- Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., Vázquez, G., Castillo-Campos, G., García-Franco, J., Mehltreter, K., Equihua, M., & Landgrave, R. (2009). Effects of Land Use Change on Biodiversity and Ecosystem Services in Tropical Montane Cloud Forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258(9), 1856-1863. doi: 10.1016/j.foreco.2009.02.023
- Mokondoko, D. P., & Manson, R. H. (2013). Mapping and Monitoring of Ecosystem Services in Central Veracruz, Mexico, to Strengthen Payment Programs for Ecosystem Services and Promote Integrated Watershed Management. Generation of Maps of Four Services Using Invest to Identify Priority Watersheds. (pp. 10): Instituto de Ecología A.C. Mulholland, P. J., & Hill, W. R. (1997). Seasonal Patterns in Streamwater Nutrient and Dissolved Organic Carbon Concentrations: Separating Catchment



- Flow Path and in-Stream Effects. *Water Resources Research*, 33(6), 1297-1306. doi: 10.1029/97WR00490
- Muñoz-Villers, L. (2008). *Efecto Del Cambio En El Uso Del Suelo Sobre La Dinámica Hidrológica Y Calidad De Agua En El Trópico Húmedo Del Centro De Veracruz, México*. (Doctorate in Biological Sciences), Universidad Autónoma Metropolitana.
 - Muñoz-Villers, L., Equihua, M., Tobón, C., & Gutiérrez Mendieta, F. J. (2011). Efectos Del Uso Del Suelo En La Hidrología De Cuencas De Montaña Del Centro Oriente De México. In O. Úrsula, Sánchez Ignacio, Miranda Miriam, Pérez Rosario, Martín Alejandra, Garatuzza Jaime & W. Christopher (Eds.), *Retos De La Investigación Del Agua En México* (2011 ed., pp. 95-104). México: OUNAM-CRIM RETAC, CONACYT.
 - Neill, C., Deegan, L. A., Thomas, S. M., & Cerri, C. C. (2001). Deforestation for Pasture Alters Nitrogen and Phosphorus in Small Amazonian Streams. *Ecological Applications*, 11(6), 1817-1828. doi: 10.1890/1051-0761(2001)011[1817:DFPANA]2.0.CO;2
 - Olarewaju, O. E., Adetunji, M. T., Adeofun, C. O., & Adekunle, I. M. (2009). Nitrate and Phosphorus Loss from Agricultural Land: Implications for Nonpoint Pollution. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 85(1), 79-85. doi: 10.1007/s10705-009-9249-8
 - Pionke, H. B., Gburek, W. J., Schnabel, R. R., Sharpley, A. N., & Elwinger, G. F. (1999). Seasonal Flow, Nutrient Concentrations and Loading Patterns in Stream Flow Draining an Agricultural Hill-Land Watershed. *Journal of Hydrology*, 220(1-2), 62-73. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00064-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00064-5)
 - Ramos-Escobedo, M., & Vázquez, G. (2001). Major Ions, Nutrients and Primary Productivity in Volcanic Neotropical Streams Draining Rainforest and Pasture Catchments at Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *Hydrobiologia*, 445(1-3), 67-76. doi: 10.1023/A:1017542821411
 - Stutter, M. I., Langan, S. J., & Cooper, R. J. (2008). Spatial Contributions of Diffuse Inputs and within-Channel Processes to the Form of Stream Water Phosphorus over Storm Events. *Journal of Hydrology*, 350(3-4), 203-214. doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.10.045
 - Tesoriero, A. J., Duff, J. H., Wolock, D. M., Spahr, N. E., & Almendinger, J. E. (2009). Identifying Pathways and Processes Affecting Nitrate and Orthophosphate Inputs to Streams in Agricultural Watersheds. *J. Environ. Qual.*, 38(5), 1892-1900. doi: 10.2134/jeq2008.0484
 - Tufekcioglu, M., Schultz, R. C., Zaimes, G. N., Isenhardt, T. M., & Tufekcioglu, A. (2013). Riparian Grazing Impacts on Streambank Erosion and Phosphorus Loss Via Surface Runoff. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(1), 103-113. doi: 10.1111/jawr.12004
 - Vázquez, G., Aké-Castillo, J. A., & Favila, M. E. (2011). Algal Assemblages and Their Relationship with Water Quality in Tropical Mexican Streams with Different Land Uses. *Hydrobiologia*, 667(1), 173-189. doi: 10.1007/s10750-011-0633-4
 - Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., & Tilman, D. (1997). Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences. *Ecological Applications*, 7(3), 737-750. doi: 10.2307/2269431
 - Vorosmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Liermann, C. R., & Davies, P. M. (2010). Global Threats to Human Water Security and River Biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555-561. doi: 10.1038/nature09440
 - Wei, L. H., Cheng, X. Q., & Cai, Y. F. (2013). Nutrient Export Via Overland Flow from a Cultivated Field of an Ultisol in Southern China. *Hydrological Processes*, 27(3), 421-432. doi: 10.1002/hyp.9270
 - Woodward, G., Gessner, M. O., Giller, P. S., et al. (2012). Continental-Scale Effects of Nutrient Pollution on Stream Ecosystem Functioning. *Science*, 336(6087), 1438-1440. doi: 10.1126/science.1219534
 - Wu, Y. P., & Chen, J. (2013). Investigating the Effects of Point Source and Nonpoint Source Pollution on the Water Quality of the East River (Dongjiang) in South China. *Ecological Indicators*, 32, 294-304. doi: 10.1016/j.ecolind.2013.04.002
 - Zar, J. H. (2010). *Biostatistical Analysis*: Prentice Hall.
 - Zhu, Q., Schmidt, J. P., Buda, A. R., Bryant, R. B., & Folmar, G. J. (2011). Nitrogen Loss from a Mixed Land Use Watershed as Influenced by Hydrology and Seasons. *Journal of Hydrology*, 405(3-4), 307-315. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.05.028



Extenso ID: 151. Ameyalli Rios-Vázquez¹, Alexis Joseph Rodríguez-Romero¹, Axel Eduardo Rico-Sánchez¹, Jacinto Elías Sedeño-Díaz², Eugenia López-López¹. EL BIOMONITOREO COMO UNA HERRAMIENTA POTENCIAL DE LA EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO BOBOS, VERACRUZ

[Regresar al índice](#)

1.- Laboratorio de Evaluación de la Salud de los Ecosistemas Acuáticos. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prol. de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Sto. Tomás, C.P. 11340 Ciudad de México. rios-vazquez@hotmail.com

2.- Coordinación Politécnica para la Sustentabilidad. Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional, Esq. Wilfrido Massieu, Col. Zacatenco, C.P. 07738 Ciudad de México.

RESUMEN

Los sistemas de evaluación y gestión de los recursos hídricos son a menudo implementados sin considerar los aspectos biológicos. Particularmente los ríos son considerados sistemas con un alto grado de conectividad y desafortunadamente están altamente impactados por cambios en el uso de suelo, contaminación y crecimiento de la población. El objetivo de este trabajo fue relacionar los resultados obtenidos de un programa de biomonitoreo que contempló macroinvertebrados bentónicos, calidad del agua y análisis del uso de suelo, con los planteamientos Programa de Ordenamiento Ecológico “Cuencas de los ríos Bobos y Solteros”. El biomonitoreo se llevó a cabo en un ciclo anual correspondiente a agosto y diciembre de 2013 y febrero y junio de 2014, a lo largo de 11 sitios de muestreo en las subcuencas de los ríos Bobos y Nautla. Se evaluó la calidad del agua mediante técnicas fisicoquímicas para determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) y a partir del biomonitoreo se calibró y calculó el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) para la región. Los resultados de ambos índices, se relacionaron con el uso de suelo, y los principales hallazgos se compararon con lo establecido en el Programa de Ordenamiento Ecológico. Se encontró que el BMWP es una herramienta de evaluación más sensible a los cambios en la calidad del agua que ICA y que además muestra una estrecha relación con los usos de suelo en la región. Así mismo, se determinó que los resultados sientan la línea base para el conocimiento de la calidad del agua en la región y el programa de biomonitoreo puede constituirse como una herramienta de fácil acceso para los usuarios directos del recurso. En este sentido, se concluye que el biomonitoreo podría considerarse como una herramienta no sólo en la evaluación de la calidad del agua para esta región, sino también como un mecanismo de gestión y toma de decisiones en torno al recurso hídrico.

Palabras clave: Macroinvertebrados bentónicos, Criterio biológico, BMWP, ICA

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas dulceacuícolas, en particular los ríos, se encuentran entre los hábitats más amenazados del mundo. Una de las razones de su alta vulnerabilidad radica en que los ríos han sido considerados como ecosistemas que presentan un alto grado de conectividad con su entorno. La intervención humana a nivel de paisaje es la principal amenaza de la integridad ecológica de los ecosistemas ribereños, lo cual impacta el hábitat, la calidad del agua, y la biota a través de diferentes y complejas rutas. El cambio en el uso de suelo es igualmente una de las razones por la cual los sistemas fluviales se ven



afectados. Conforme el disturbio en el uso del suelo se incrementa por las actividades antrópicas, se hace indispensable determinar la forma en que éstas influyen en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos, particularmente los ríos, así como el potencial de restauración que puede tener el ecosistema impactado debido a su alto nivel de susceptibilidad a los disturbios. Un aspecto clave es el comprender los vínculos entre el uso del suelo con los cambios en las condiciones físico-químicas y con los ensambles bióticos de los ríos (Kasangaki *et al.*, 2006).

Particularmente, los macroinvertebrados acuáticos son un grupo de organismos que han sido empleados para la evaluación de la calidad del agua, debido a que poseen una amplia gama de respuestas al estrés ambiental en diferentes niveles de organización y cuyos efectos se manifiestan desde cambios en el metabolismo de los organismos, hasta alteraciones en la estructura y atributos propios de la comunidad. En ese sentido, cuando los cuerpos de agua experimentan algún tipo de impacto, la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se ve modificada, ocasionando la muerte de los organismos sensibles (intolerantes) a los eventos de estrés y favoreciendo el desarrollo de aquellos organismos menos sensibles (tolerantes) a las condiciones adversas (Alonso y Camargo, 2005). Por otro lado, además de exhibir una amplia gama de atributos que les permiten responder a los cambios en el ambiente, estos organismos han sido reconocidos como excelentes bioindicadores por su fácil reconocimiento taxonómico (a nivel de familia) y manipulación, lo cual ha permitido implementar esta herramienta como enlace entre la evaluación de la calidad del agua y la gestión de los recursos hídricos para la aplicación de políticas públicas de aprovechamiento sustentable (Kenney *et al.*, 2009).

El uso de este grupo de organismos ha permitido el desarrollo de índices ecológicos enfocados a calificar el estado de condición de los cuerpos de agua, siendo el BMWP (Biological Monitoring Working Party) uno de los más empleados en todo el mundo. Este índice refleja el estado de condición del hábitat a partir del monitoreo multiespecífico (multihábitat) en un momento dado, siendo además un método sencillo y fácil de interpretar para cualquier persona. A pesar de requerir una calibración previa con base en las variaciones temporales y espaciales de la calidad del agua, este índice puede ser empleado como una herramienta de vinculación directa con los usuarios del recurso a través de lo que se conoce como “Biomonitoreo participativo” (Overdevest *et al.*, 2004).

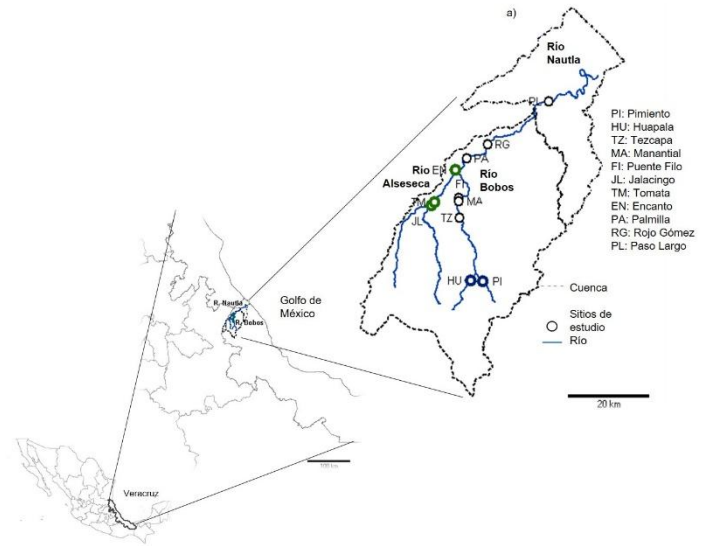
El decreto por el que se expidió el Programa de Ordenamiento Ecológico de Cuenca (POEC) que regula y reglamenta el desarrollo de la región denominada “Cuenca del Río Bobos” fue publicado el 3 de junio de 2004, como resultado de un diagnóstico ambiental del territorio veracruzano que identificó a la cuenca de este río como una zona que requería ser objeto de ordenamiento ecológico. En dicho diagnóstico ambiental se evidenció que la cuenca destaca como un sitio de importancia mundial para aves migratorias, que aún conserva un variado mosaico de ambientes y comunidades vegetales como el bosque mesófilo de montaña, remanentes de selva y vegetación de galería, los cuales se caracterizan por su gran riqueza biológica que incluye especies endémicas y de importancia mundial, por la producción y retención de agua, conservación de suelo, y protección frente a inundaciones y deslaves (Decreto del POER Cuenca del Río Bobos, 2004).

El POEC de los ríos Bobos y Solteros establece las Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) a las que están sujetas las cuencas de estos ríos, asignándole a cada una los criterios ecológicos, y los usos predominantes, compatibles (que pueden desarrollarse simultáneamente con el uso predominante y no requieren regulación), condicionados (que requieren ser regulados para evitar el deterioro del ecosistema) e incompatibles (que no es recomendable debido a que causa deterioro en el ecosistema); y la política ambiental más adecuada de acuerdo a su estado deseable. Esta última puede ser de cuatro tipos de acuerdo con SEMARNAT (2006):

- Protección/preservación. Busca mantener a los ambientes naturales con características relevantes, para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos.

En áreas naturales implica su uso recreativo, científico o ecológico. Están prohibidas actividades productivas o asentamientos humanos no controlados.

- **Conservación.** Dirigida a áreas cuyos usos no interfieren con su función ecológica. Su inclusión como áreas naturales protegidas es opcional. Tiene como objetivo mantener la continuidad de las estructuras, procesos y servicios ambientales, relacionados con la protección de elementos ecológicos y de usos productivos estratégicos.
- **Aprovechamiento.** Se asigna a aquellas áreas que por sus características, son apropiadas para el uso y manejo de recursos naturales, de forma que resulte eficiente, socialmente útil y no impacte negativamente sobre el ambiente.
- **Restauración.** Se aplica en áreas con procesos de deterioro ambiental acelerado, donde es necesaria la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales. Puede dirigirse a la recuperación de tierras improductivas por su deterioro o al restablecimiento de su funcionalidad para un aprovechamiento sustentable futuro.



El objetivo de este trabajo fue relacionar los resultados obtenidos de un programa de biomonitoreo que contempló macroinvertebrados bentónicos, calidad del agua y análisis del uso de suelo, con los aspectos del Programa de Ordenamiento Ecológico “Cuencas de los ríos Bobos y Solteros”.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El río Bobos-Nautla es el cauce principal de la cuenca hidrológica “Río Nautla”, la cual pertenece a la región hidrológica “Norte de Veracruz”. Esta cuenca tiene una superficie de 2,934 km², es de tipo exorreica y su curso corre a través de terrenos cuya altitud alcanza los 4280 msnm.

La parte media de este río atraviesa el Área Natural Protegida “Río Filobobos y su entorno”. Nace como el río Las Minas en el municipio de Altotonga, y al unirse al río Migueta recibe el nombre de Río Bobos, el cual pasa por los municipios de Tlapacoyan, Misantla, Rojo Gómez y Martínez de la Torre, en los cuales recibe otras corrientes tributarias, para después convertirse en el Río Nautla, en el municipio de Nautla y desembocar en el Golfo de México (Figura 1).

Se eligieron 11 sitios de colecta con el propósito de cubrir la mayor parte del cauce del Río Bobos (Figura 1), considerando las partes más altas del río en función de accesibilidad al sitio, velocidad de corriente y profundidad que permitieran la realización de la colecta. Diez de los sitios pertenecen a la subcuenca del Río Bobos y uno corresponde a la confluencia del río con la subcuenca del Río Nautla.

Figura 1. Mapa del área de estudio que muestra los sitios de colecta a lo largo de las dos subcuencas.



Trabajo de campo

Se consideraron cuatro eventos de monitoreo: agosto y diciembre de 2013, y febrero y junio de 2014, con la finalidad de obtener distintos escenarios de condiciones ambientales en el área de estudio. En campo se registraron las siguientes variables con ayuda de una sonda multiparamétrica Quanta® a 50 cm de la superficie del agua, en la zona litoral: temperatura (T°C), conductividad (mS/cm) y oxígeno disuelto (OD mg/l).

En cada estación de monitoreo se tomaron muestras de agua en recipientes de 500 mL libres de metales y detergentes por duplicado, así como muestras de agua con ayuda de bolsas Whirlpack® para la determinación de coliformes totales y fecales. Las muestras fueron transportadas en refrigeración y oscuridad para su posterior análisis en laboratorio.

La colecta de macroinvertebrados se llevó a cabo siguiendo el criterio “multi-hábitat” (Barbour *et al.*, 2006), el cual consiste en obtener estos organismos en muestras diferenciadas por tipo de hábitat (rápidos, pozas, remansos y vegetación litoral). Para los diferentes hábitat, se utilizaron los siguientes artes de colecta: una red de pateo de 105 cm de largo por 80 cm, una red de cuchara tipo D y una red de deriva tipo Hess, las tres con 500 µm de luz de malla. A partir de estas artes se obtuvo la mayor parte de la comunidad de macroinvertebrados en los sitios de estudio. Los organismos colectados son separados en campo por hábitat y fijados en etanol al 70 % para su posterior identificación en laboratorio.

Trabajo de laboratorio

Calidad del agua

Las muestras de agua fueron procesadas mediante las técnicas espectrofotométricas de HACH® para determinar nitratos (NO₃ mg/L) y color (unidades de Pt-Co), empleando un espectrofotómetro HACH® 3900. También se determinó la dureza (CaCO₃ mg/L), alcalinidad (CaCO₃ mg/l), cloruros (Cl mg/l), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅ mg/l), coliformes totales y coliformes fecales (NMP/100ml) mediante las técnicas de la APHA (2005).

La calidad del agua fue evaluada usando el índice ponderado multiplicativo propuesto por Dinius (1987), el cual considera el porcentaje de saturación de oxígeno (% OD), la DBO₅, la concentración de NO₃, la dureza, el color, las coliformes totales y fecales, la alcalinidad, cloruros, conductividad, diferencia de temperatura y pH mediante la siguiente expresión:

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i}$$

En donde:

- ICA Índice de calidad del agua, valores de 0 a 100
 I_i Subíndice del *i*ésimo parámetro, valores de 0 a 100
 w_i Peso ponderado del *i*ésimo parámetro, valores de 0 a 1 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$
 n Número de parámetros

El valor del índice fluctúa en una escala de 0 a 100 para calificar los usos potenciales del agua de acuerdo con los intervalos que se muestran en la Figura 2.

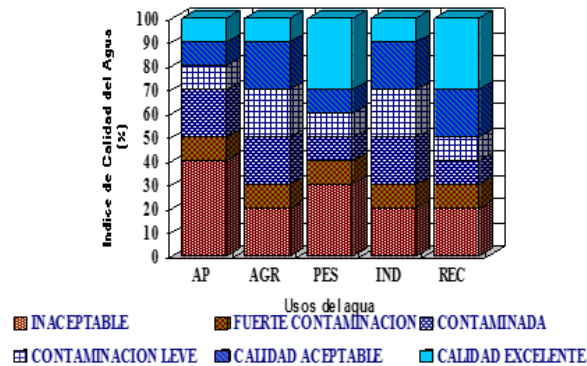


Figura 2. Valores del ICA en función de cada uso potencial del recurso hídrico.

Se calculó el ICA para cada sitio de colecta en cada momento de muestreo. Estos fueron a su vez promediados para obtener el valor de ICA por sitio de muestreo y temporada. Se realizó un análisis de varianza de una sola vía para encontrar diferencias significativas entre sitios y entre temporadas, usando un valor de $\alpha = 0.05$.

Uso de suelo

A partir de la cartografía digital de uso de suelo del INEGI, escala 1:50,000, se cuantificó el área de influencia de los usos de suelo empleando un buffer (de 1 km de ancho por 2 km de largo) río arriba de cada sitio de estudio (Figura 3). Los usos de suelo fueron agrupados en tres categorías: vegetación natural, agricultura y uso urbano. El análisis de los datos geográficos y la construcción de los buffers se llevaron a cabo con ayuda del programa Mapa Digital de México Versión 6 del INEGI.

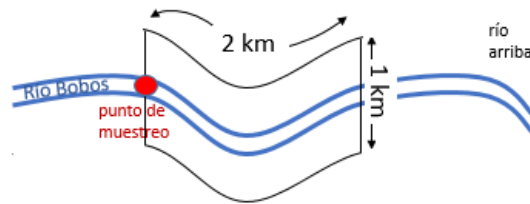


Figura 3. Representación esquemática de la construcción de “buffer” para el análisis de los usos de suelo.

Comunidad de macroinvertebrados

La identificación de los macroinvertebrados bentónicos se llevó a cabo empleando las claves especializadas a nivel de familia de Thorp y Covich (2001) y Merritt *et al.*, (2008). Para cada sitio y temporada de estudio se obtuvo la riqueza específica y abundancia para cada familia.

Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Se calculó el índice de calidad fisicoquímica (C_{fq}) de acuerdo con Riss *et al.*, (2002) y Ruiz-Picos *et al.*, (2016), a partir del cual se obtiene la calibración del índice BMWP. El C_{fq} se calculó a partir de los parámetros fisicoquímicos que alcanzaron significancia estadística ($p < 0.05$) en los dos primeros ejes de un análisis de factores. Posteriormente, cada parámetro se normalizó a partir de la fórmula $C_i = \frac{C_i - C_{i2min}}{C_{i2max} - C_{i2min}}$ y se obtiene los valores mínimos (C_{i2min}) y máximos (C_{i2max}) de cada variable tomando en consideración la legislación para la protección ambiental de la vida acuática en México (NOM-127-SSA1-1994; NOM-001-ECOL-1996).

Se ajustaron los valores de cero a diez según el BMWP para cada familia, en función del intervalo de abundancia para cada intervalo de C_{fq} , empleando el quinto percentil para asignar un valor de bioindicación a cada familia. En cada sitio de estudio considerando la colecta multihábitat, se calculó el valor de BMWP, con los valores obtenidos se obtuvo la categoría de calidad que le corresponde a cada sitio (Tabla. 1), obteniéndose valores promedio del índice por sitio y temporada de estudio.

Tabla 1. Intervalos de calidad del agua asignados para el BMWP del río Bobos.

Intervalo de calidad	Intervención	Calidad del agua
>157	Mínima	Alta
136-157	Leve	Buena
115-136	Importante	Media
94-115	Grave	Escasa
<94	Muy grave	Mala

Programa de Ordenamiento Ecológico Cuencas de los ríos Bobos y Solteros

Se obtuvieron las Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) a las que pertenece cada uno de los 11 sitios de estudio, utilizando el Sistema de Información Geográfica para la Evaluación de Impacto Ambiental (SIGIEA, 2012). Con los Anexos 1 y 2 del Programa de Ordenamiento Ecológico (POEC de los ríos Bobos y Solteros, 2008), se obtuvieron los usos predominantes, compatibles, condicionados e incompatibles, así como la política correspondiente para cada UGA.

Se elaboró una tabla que conjuntó los valores obtenidos de ICA promedio, BMWP calibrado, uso de suelo, las UGAs y su política ambiental, y uso de suelo de acuerdo al POEC, para cada sitio de colecta.

RESULTADOS

Análisis de calidad del agua

Los resultados del ICA a lo largo de los sitios y temporadas de estudio (Fig. 4) fluctuaron entre los 81 y 94 puntos del índice, lo cual puede ser calificado de manera general con calidad excelente. Sin embargo, los criterios de calidad para los distintos usos potenciales del agua califican al río desde contaminación leve para consumo humano en los sitios de JI y TM a calidad excelente para los criterios de pesca y recreación a lo largo de todos los sitios.

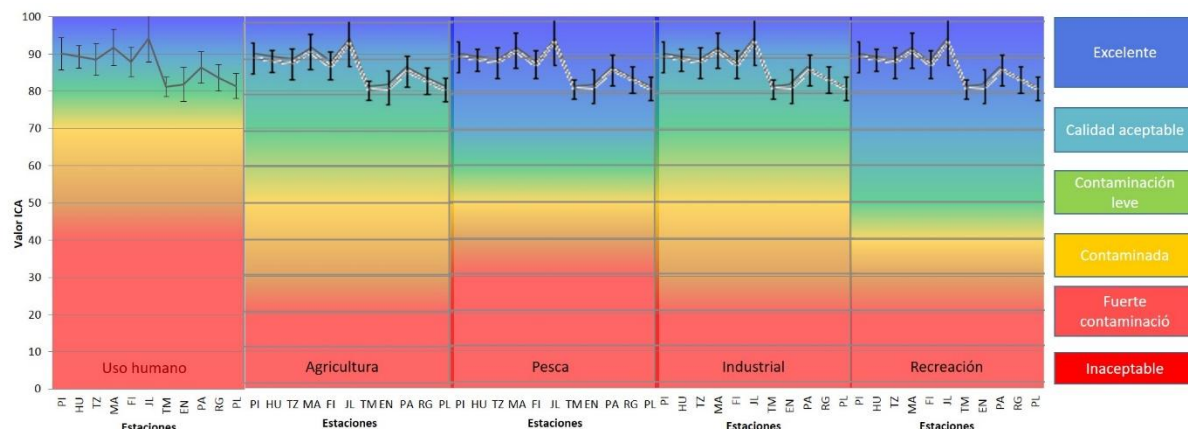


Figura 4. Valores promedio del ICA para los sitios lo largo de las temporadas de estudio.

Entre temporadas los valores promedio, indican que febrero fue el momento del año con la mejor calidad del agua (92 ± 5) mostrando diferencias significativas con respecto a agosto ($p < 0.0001$) y junio ($p < 0.0002$).

Uso de suelo

Se encontraron 14 atributos de uso de suelo a lo largo de los sitios de estudio, los cuales fueron agrupados en vegetación natural, uso agropecuario y zona urbana. Se encontró que los sitios de la parte más alta PI, HU y TZ conservan zonas de vegetación natural de tipo Bosque mesófilo de montaña, mientras que hacia la parte media (MA, FI, JL, TM y EN) domina el uso agropecuario. Finalmente, hacia la parte baja (PA, RG y PL) se encuentran los asentamientos humanos y la zona urbana, aunque también con presencia de zonas agropecuarias y una pequeña porción de vegetación natural (Fig. 5).

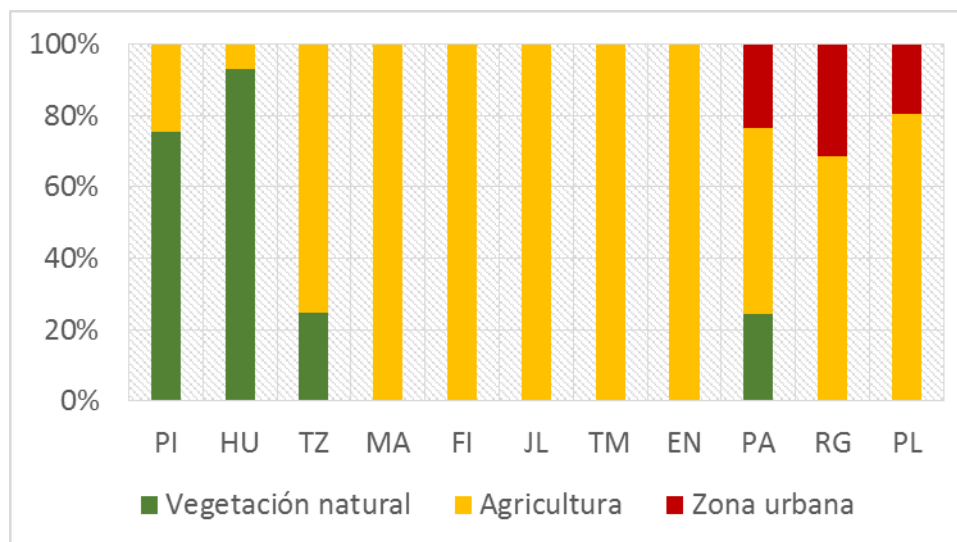


Figura 5. Porcentaje de cobertura por uso de suelo a lo largo de los sitios de estudio.

Biological Monitoring Working Party

El elenco de macroinvertebrados bentónicos se compuso de 73 familias incluidas en 22 órdenes, dentro de cinco *phyla*. Se obtuvieron los valores de bioindicación para cada familia. Se encontró que el 2.73% de las familias califican con 10, el 20.54% con 9, el 10.95% con 8, el 9.58% con 7, el 12.32% con 6, el 34.24% con 5 y finalmente el 9.58% restante con calificación de 1.

Los valores promedio del BMWP no presentaron diferencias significativas entre sitios de estudio ($p < 0.05$); sin embargo, se identificó un descenso en la calidad del agua en TZ, MA y FI mostrando valores que van desde media hasta escasa calidad de agua (108.5, 118.5 y 132.5, respectivamente). Los tributarios de la parte media en la zona de estudio presentaron buena calidad del agua (JL, TM, EN y PA), mientras que la parte baja (PA y PL) presentó escasa y mala calidad del agua (121.5 y 93.5, respectivamente). No se señala el procedimiento para asignar las calificaciones de calidad

La variación temporal del BMWP mostró diferencias significativas entre las temporadas de estudio ($p < 0.05$), indicando que la temporada con el valor más bajo corresponde a diciembre, siendo significativamente distinto de febrero y junio.

Programa de Ordenamiento Ecológico

Se encontraron 7 Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) distintas que inciden sobre el cauce del río Bobos, con tres de las cuatro políticas ambientales posibles, y cuyos usos de suelo fueron distintos en cada UGA. La calidad del agua, el uso de suelo y el POEC se conjuntan en la Tabla 2 para cada sitio de colecta.

Tabla 2. Valores de ICA promedio, uso de suelo, (UGAs) de acuerdo al POEC de los ríos Bobos y Solteros y uso de suelo para cada UGA, correspondientes a cada uno de los 11 sitios de muestreo sobre el cauce del Río Bobos.

VgNat = Vegetación natural AgPc = Agropecuario ZnUr = Zona urbana

P = Uso predominante Cm: Uso Compatible Cn: Uso Condicionado I: Uso Incompatible

Sitio	ICA	BMWP (calidad)	Uso de suelo	UGA y política	Uso de suelo según el POEC
PI	90	157.5 (Alta)	VgNat AgPc	8 Restauración	P: Espacio natural.
HU	89	151 (Buena)	VgNat		Cm: Turismo, flora y fauna.
					Cn: Infraestructura, equipamiento.
					I: Agrícola, pecuario, asentamientos humanos, industrial, minería
TZ	89	108.5 (Escasa)	VgNat AgPc	1 Protección	P: Área natural
					Cm: Flora y fauna
					Cn: Turismo, agrícola, pecuario, pesca, acuacultura y forestal.
					I: Asentamientos humanos, industria, infraestructura y minería.
MA	92	118.5 (Media)	AgPc	10 Aprovechamiento	P: Área natural
FI	88	132.5 (Media)			Cm: Flora y fauna
					Cn: Agrícola, pecuario, turismo y forestal.
					I: Asentamientos humanos, industria,

					infraestructura, minería.
JL	94	140 (Buena)		9 Restauración	P: Flora y fauna.
					Cm: -
					Cn: Agrícola, asentamientos humanos, pecuario, turismo, acuacultura, industrial, forestal
					I: -
TM	81	155 (Buena)		8 Restauración	Ver sitios PI y HU
EN	82	137.5 (Buena)		10 Aprovechamiento	Ver sitios MA y FI
PA	86	151.5 (Buena)	VgNat AgPc ZnUr	15 Aprovechamiento	P: Agrícola
					Cm: Flora y fauna, pecuario, asentamientos humanos e infraestructura.
					Cn: Forestal y minería.
					I: Turismo.
				16 Aprovechamiento	P: Asentamientos humanos.
					Cm: Turismo.
					Cn: -
					I: Agrícola, pecuario, forestal, flora y fauna, espacio natural, área natural
RG	84	121.5 (Media)	AgPc ZnUr	3 Protección	P: Espacio natural
					Cm: Flora y fauna
					Cn: Infraestructura y pesca.
					I: Asentamientos humanos, industria.
PL	81	93.5 (Mala)		9 Restauración	Ver sitio JL

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La calidad del agua presentó una mayor variación temporal que espacial, principalmente debido a las condiciones climatológicas de la región. De forma general, los valores de calidad reflejan una buena condición en términos fisicoquímicos, lo cual resulta congruente y oportuno para una zona que se



encuentra bajo un criterio de protección (Saunders *et al.*, 2002). Sin embargo, Houbbron (2010) menciona que la estimación de la calidad del agua en el estado de Veracruz a partir de diversos índices es de contaminada a fuertemente contaminada, acentuándose durante la época de estiaje.

La proporción de usos de suelo en la zona de estudio refleja claramente el dominio de uso de suelo por agricultura, incluso en los sitios que se encuentran dentro del polígono del ANP “Río Filobobos y su entorno” (FI, JL, TM y EN). Sin embargo, hay sitios que aún poseen cobertura vegetal natural, como PI y HU, los cuales además se encuentran dentro del Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) “Centro de Veracruz” (SIGEIA, 2012), y los sitios TZ y PA, que forman parte del ANP antes mencionada. En la mayoría de los casos, el uso de suelo obtenido para este trabajo concuerda con el uso predominante y compatible de cada UGA, a excepción del sitio TM, en donde el uso de suelo es completamente agropecuario mientras que de acuerdo al POEC es espacio natural, y los sitios RG y PL, en donde el uso de suelo es agropecuario/urbano mientras que según el POEC es espacio natural y para flora y fauna respectivamente. En cambio, los usos de suelo obtenidos resultaron contradictorios a los usos incompatibles según el POEC en los sitios PI, HU, TM, PA y RG, lo cual podría comprometer a largo plazo la flora y fauna presente, y afecta la calidad del agua considerablemente en ciertos sitios (TM, PA y RG).

La comunidad de macroinvertebrados se encontró bien representada con 73 familias en cuatro momentos empleando un método de colecta multihábitat (Barbour *et al.*, 2006), a diferencia de lo que han encontrado otros autores como Rodríguez-Barrios *et al.*, (2011) en un río tropical de Colombia, quienes tan sólo encontraron 52 familias en diez campañas de muestreo, empleando colecta únicamente en rápidos. En este sentido, garantizar la representatividad de familias en la zona de estudio es un punto importante en la calibración y uso del BMWP.

La calibración del BMWP para la zona de estudio a través del método adaptado de Riss *et al.*, (2002) representa uno de los escasos trabajos que genera información específica para la zona, ya que en diversos trabajos, sólo se toman los valores de bioindicación para cada familia de otros países sin un proceso estadístico de calibración (Ruiz-Picos *et al.*, 2016). El BMWP como herramienta de biomonitoreo ha sido reconocida por su facilidad de interpretación y manejo, siendo aplicada en países como Costa Rica en programas de biomonitoreo participativo (Gutiérrez-Fonseca y Lorió, 2014) y formando parte de la legislación ambiental.

Los programas para el manejo de recursos hídricos históricamente cuentan con información fisicoquímica y limnológica de al menos 30 años de estudio; sin embargo, para acortar el tiempo que tomaría, las aproximaciones recientes de los estudios ecológicos buscan encontrar una relación matemática capaz de reflejar el escenario ambiental real con las propiedades fisicoquímicas del agua (Yazdian *et al.*, 2014). En este sentido, otros autores mencionan que el uso específicamente de los macroinvertebrados bentónicos muestra considerables ventajas para estos propósitos, particularmente por tratarse de un método de bajo costo y a pesar de que requiera un apoyo científico previo, es posible consolidar una herramienta de evaluación y gestión de los recursos hídricos (Kenney *et al.*, 2009). Desgraciadamente, la legislación mexicana en el tema de la vigilancia de los recursos hídricos no considera ningún indicador biológico (sólo si se considera la DBO₅), por lo que la calibración de índices como herramientas de gestión de los recursos hídricos es un área de oportunidad y crecimiento en términos científicos y sociales.

Al observar todos los resultados obtenidos en conjunto, resalta la necesidad de ajustar el ordenamiento ecológico del río Bobos, así como acatar los usos y criterios ecológicos establecidos en el POEC. Los sitios PI y HU poseen un alto valor biológico al conservar aún la vegetación natural de tipo Bosque mesófilo de montaña, uno de los ecosistemas con mayor biodiversidad en nuestro país y fuertemente impactado por las actividades humanas, y al poseer altos valores de calidad del agua de acuerdo al ICA y el BMWP, por lo que es necesario asignarles una política de ordenamiento que permita la



conservación de sus características. Los sitios que se encuentran dentro del ANP presentan valores de calidad “escasa” a “buena” de acuerdo al BMWP, sugiriendo que se requiere acatar y aplicar medidas de ordenamiento ecológico acordes a lo requerido para la conservación de especies en ANPs. Es menester que se reconsidere la pertenencia del sitio JL a la UGA 9, debido a que este sitio presentó altos valores de calidad del agua, de acuerdo al ICA y el BMWP, y a que por su alta riqueza específica, se encuentra dentro de la Región Terrestre Prioritaria “Cuetzalan” (SIGEIA, 2012), características que se pueden ver comprometidas por los usos permitidos en esta UGA. Por último, el sitio PL requiere especial atención en su regulación, debido a que presentó el valor más bajo de calidad del agua y a que se encuentra dentro de un humedal continental que, si bien es de origen antrópico (SIGEIA, 2012), proporciona servicios ambientales importantes como el amortiguamiento de eventos catastróficos tales como inundaciones, es hábitat de múltiples especies, etc.

En conclusión, los resultados del biomonitoreo y su análisis en los actuales instrumentos de manejo sugieren que el río Bobos se encuentra en un área de oportunidad excelente para proponer la herramienta de biomonitoreo. El uso de macroinvertebrados mejora enormemente la capacidad de los Organismos de Cuenca para identificar y, posteriormente, mejorar las aguas contaminadas. Sin embargo, aún es necesaria más investigación. La colaboración entre investigadores y la política pública ambiental local permitirá conducir a nuevos y mejores sistemas de manejo relevantes para la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento de los proyectos SIP-20130897 “Evaluación de la calidad del agua del río Filobobos: una correlación con los usos del suelo en el área natural protegida y su área de influencia”, SIP-20131069 “Variación espacio temporal en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Filobobos”, SIP-20140644 “Diseño de un índice de integridad biótica regional para la evaluación de salud de los ríos del norte de Veracruz” y SIP-20140653 “Biomarcadores de estrés oxidativo en organismos centinela del río Filobobos (Veracruz) para la valoración de su condición de salud”.

LITERATURA CITADA

- Alonso, A. y Camargo, J. A. 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*. 14(3).
- APHA, AWWA y WEF. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. Health Association, Washington D.C., EE.UU, págs. 1005-1050.
- Barbour, D. J, Stribling, J. B. y Verdonshot, P. F. M. 2006. The multihabitat approach or USEPA’s rapid bioassessment protocols: Benthic macroinvertebrates. *Limnetica*. 25(3): 839-850.
- Decreto por el que se expide el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional que regula y reglamenta el desarrollo de la región denominada Cuenca del Río Bobos. 2004, 3 de junio. En: Gaceta Oficial N° 111. Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.
- Dinius, S. H. 1987. Design of an index of water quality. *Journal of the American Water Resources Association*. 23(5): 833-843.
- Gutiérrez-Fonseca, P. E. y Lorion, C. M. 2014. Application of the BMWP-Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: sensitivity to collection method and sampling intensity. *Revista de Biología Tropical*. 62: 275-289.



- Houbbron, E. 2010. Calidad del agua. En: Benitez-Badillo, G. y Welsh-Rodríguez, C. 2010. Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. México. ISBN 978-607-95131-5-3.
- Kasangaki, A., Babaasa, D., Efitre, J., McNeilage, A. y Bitariho, R. 2006. Links between anthropogenic perturbations and benthic macroinvertebrate assemblages in Afromontane forest streams in Uganda. *Hydrobiologia*. 563(1): 231-245.
- Kenney, M. A., Sutton-Grier, A. E., Smith, R. F. y Gresens, S. E. 2009. Benthic macroinvertebrates as indicators of water quality: the intersection of science and policy. *Terrestrial Arthropod Reviews*. 2(2): 99.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W. y Berg, M. B. 2008. An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall Hunt, 4ª ed. Iowa, USA p. 1214.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, 6 de enero de 1997.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación, 18 de enero de 1996.
- Overdeest, C., Orr, C. H. y Stepenuck, K. 2004. Volunteer stream monitoring and local participation in natural resource issues. *Human Ecology Review*. 11(2): 177-185.
- Programa de Ordenamiento Ecológico Cuencas de los ríos Bobos y Solteros. 2008, 12 de marzo. En: Gaceta Oficial N° ext 81. Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.
- Riss, W., Ospina, R. y Gutierrez, J. D. 2002. Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la sabana de Bogotá. *Caladasia*. 24(1): 135-156.
- Rodríguez-Barrios, J., Ospina-Tórres, R. y Turizo-Correa, R. 2011. Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 59(4): 1537-1552.
- Ruiz-Picos, A., Sedeño-Díaz, J. E. y López-López, E. 2016. Calibrating and validating the Biomonitoring Working Party (BMWP) index for the bioassessment of water quality in Neotropical streams. In *Water Quality (IntechOpen)*.
- Saunders, D. L., Meeuwig, J. J. y Vincent, A. C. J. 2002. Freshwater protected areas: strategies for conservation. *Conservation Biology*. 16(1): 30-41.
- SEMARNAT. 2006. Manual del proceso de ordenamiento ecológico. 1a ed. México, DF. p. 96.
- Sistema de Información Geográfica para la Evaluación de Impacto Ambiental. 2012. [software en línea]. México: SEMARNAT. En: <http://mapas.semarnat.gob.mx/SIGEIA5e5PUBLICO/BOS/Bos.php> Fecha de consulta: 3 de abril de 2016.
- Thorp, J. H. y Covich, A. P. 2001. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. Academic, 3a ed. San Diego, California, USA p. 1020.
- Yazdian, H., Jaafarzadeh, N. y Zahraie, B. 2014. Relationship between benthic macroinvertebrate bio-indices and physicochemical parameters of water: a tool for water resources managers. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 12(1): 1.



Extenso ID: 12. José Manuel Vilchis Vilchis. IMPORTANCIA DEL MONITOREO HIDROMETEOROLOGICO DE LA CUENCA, CASO CUENCA VALLE DE BRAVO-AMANALCO

[Regresar al índice](#)

Gerente Operativo de la Comisión de Cuenca Valle de Bravo – Amanalco.

Contacto directo: jmvv78@yahoo.com.mx

Contacto alterno: valledebravo21@yahoo.com.mx, Tel. cel.: 722 4131264

Palabras Clave: Fábrica de Agua, Sistema Cutzamala, Medición, Planeación. Gestión.

Resumen: La cuenca es la unidad mínima de manejo del territorio, permite trascender más allá de los elementos y factores. La Cuenca Valle de Bravo – Amanalco es un espacio geográfico que abastece de agua al Sistema Cutzamala, dependiendo de la época del año, los niveles de almacenamiento y la logística que la CONAGUA establece ante los procesos de extracción, el gasto llega a ser hasta del 100%.

A pesar de ser el monitoreo un eje fundamental de planeación, no fue sino hasta inicios de la presente década cuando se comenzaron a realizar importantes ejercicios de registrar, ya que con anterioridad solo existía una estación. Algunas décadas atrás hay algunos registros de estaciones, pero con datos trancos o sin registro, hoy la mayoría están abandonadas.

La CCVBA en 2009 comenzó a gestionar ante la CONAGUA y CAEM la manera de poder incorporar un programa de medición. Ante esta idea fundamental la CCVBA en los últimos meses del año 2009, adquiere unos dispositivos análogos de medición directa de lluvia y temperatura, que instalaron en tres partes de la cuenca, con lecturas cada 24 horas. Formalizando las lecturas para el año 2010, que se nos donaron lectores electrónicos de precipitación y temperatura, con la capacidad de registrar la lluvia acumulada anual, con lo que se dio un adelanto en el monitoreo y registro.

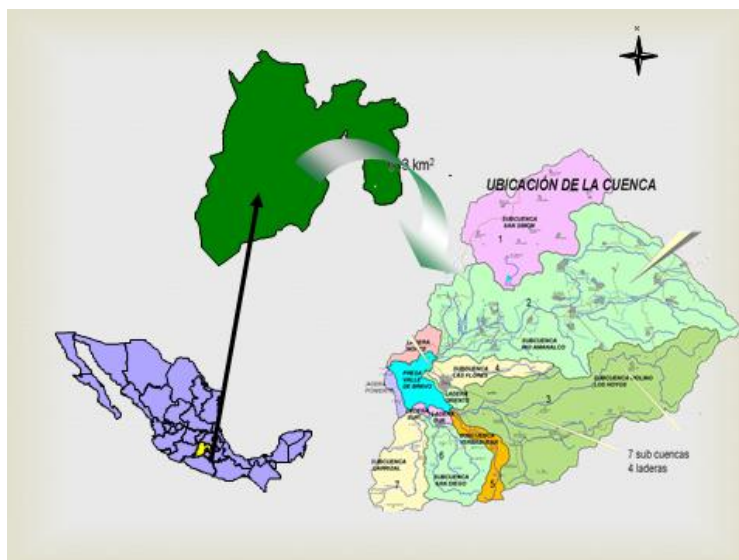
Para el año 2014 se adquirieron estaciones automatizadas, que pueden medir más parámetros adicionales. Desde entonces sabemos cómo se comporta la lluvia en la cuenca y los datos se vinculan con los niveles de almacenamiento de la presa, encontrando mucha información indispensable para la planeación integral de los recursos hídricos.

Con esta estrategia se sentaron las bases sobre la necesidad de información, en donde CONAGUA y CAEM iniciaron proyectos de redes de estaciones en la cuenca. La realidad muestra que es difícil contar con información, pero al menos se logró que las dependencias relacionadas con la planeación y el desarrollo de sector hídrico, tuvieran estas herramientas esenciales. Dando un uso constante a estudiantes, investigadores y a los sectores que integran este grupo colegiado.

INTRODUCCIÓN

La cuenca vista como la unidad mínima de manejo del territorio nos permite trascender más allá de los elementos y factores que se pudieran presentar en un espacio cualquiera, recordemos que cualquier punto del planeta que toquemos al azar forma parte de una cuenca, ¿qué dimensiones y características?, desde luego estarán en función de la escala de trabajo o el nivel de detalle de estudio, aquí la base fundamental geográfica del manejo de cuencas.

La CVBA se localiza al poniente del Estado de México, pertenece a la Subcuenca Tilostoc dentro del Río Cutzamala, en la región 18 de la Cuenca del Balsas, posee una superficie de 613 Km²; cubre en su totalidad el municipio de Amanalco y la mayor parte del municipio de Valle de Bravo. También considera partes significativas de los municipios de Donato Guerra, Villa de Allende, Villa Victoria y Temascaltepec. Tiene superficies menores (exclusivamente forestales) de los municipios de Almoloya de Juárez y Zinacatepec.



Ubicación de la cuenca en el contexto Nacional y Estatal

Pese a que geográficamente pertenece a la Cuenca Río Balsas, en base un Acuerdo de Administración publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de noviembre del 2000 en el que la región referida pasa a la administración del Organismo de Cuenca del Valle de



México, la base de este acuerdo, la Operación del Sistema Cutzamala y las fuentes de abastecimiento del mismo.

La geología de la cuenca, en más de 90%, presenta un origen volcánico, la fisiografía del área está determinada en su mayoría por conos cineríticos, derrames de lava, basaltos y granitos. Producto de esta configuración, en la cuenca predominan los suelos andosoles en sus diferentes variedades, ocupando 74% de su totalidad. El clima en la cuenca está dividido en tres tipos, correspondientes a la división de la misma en alta, media y baja. En las zonas por debajo de los 2,200 metros sobre el nivel del mar, se tiene un clima subhúmedo semicálido, con una temperatura media anual de 22° C, que abarca 10.5 % de la superficie de la cuenca.

Entre las cotas 2,200 y 3,000 metros sobre el nivel del mar, se presenta un clima templado subhúmedo, con una temperatura media de 12° Ca 18° C, que se extiende en 80.8 % de la superficie. Por último, el clima semifrío subhúmedo, con una temperatura media de entre 5° C y 9° C, arriba de los 3,000 metros sobre el nivel del mar, ocupando 8.7 % del territorio.

La precipitación media anual se distribuye a lo largo de la cuenca de manera ascendente, desde la parte baja hasta la parte alta. En la cortina de la presa se registran hasta 1,310 mm anuales de lluvias y en el extremo poniente, 1,500 mm, lo que da la variabilidad de ambientes de la cuenca a lo largo y ancho.

Las características hidrológicas de importancia de la Cuenca de Valle de Bravo-Amanalco, son que el agua que produce es almacenada en la Presa Miguel Alemán (Presa de Valle de Bravo), de donde abastece de agua al Sistema Cutzamala con un promedio de 6 m³/seg., y que beneficia a zonas conurbadas de la Ciudad de México y Estado de México. Está integrada por 7 subcuencas que en total albergan alrededor de 833 manantiales con gastos de 3,841 litros por segundo, (SMA, GEM 2006).

La vegetación corresponde a las zonas templadas, con bosques mixtos de oyamel, pino y encino. A menor altitud, existe una variedad y una transición de encinales a selva baja y bosques de galería, tanto en las riberas de la presa como en la desembocadura de los ríos. Junto a los diferentes bosques, se desarrolla vegetación baja de arbustos y herbáceas, que interactúan en cada ecosistema, además de contar con una serie de árboles frutales que varían desde el clima frío al semicálido de la parte baja, sin dejar de lado vegetación inducida, como los cedros, eucaliptos y mimbres. En cuanto a la distribución del uso del suelo:



USO DE SUELO	SUPERFICIE (ha)	PORCENTAJE
Forestal	30,402.70	49.40
Agrícola	24,265.31	39.42
pastizales	3,189.07	5.18
Urbano	1,137.20	1.85
matorral	371.49	0.61
Cuerpos de agua	2,098.82	3.41
TOTAL	61,548.47	100.00

Uso de Suelo de la CVBA, Plan Rector de la CVBA, IMTA, 2005

La CVBA posee 95 asentamientos humanos, de los cuales, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), sólo el de la cabecera municipal de Valle de Bravo se puede calificar como urbano, los 94 restantes son rurales.

La principal actividad de la población es la agricultura y los sistemas agropecuarios que son alternados con trabajos relacionados con la explotación forestal. Dentro de las actividades destacan la producción de maíz, haba, chícharo, papa, forrajes. La producción de trucha, principalmente en la parte alta y media. La floricultura en la parte baja y una muy marcada actividad de tipo turística en la parte baja. La población económicamente activa en la Cuenca es el 43.77%.

DESARROLLO DEL MONITOREO

La CVBA es un espacio geográfico que abastece de agua del Sistema Cutzamala; dependiendo de la época del año, el gasto que se aporta, va desde una tercera parte, hasta casi la mayoría, esto depende de los niveles de almacenamiento de la Presa Valle de Bravo y el resto de presas y sobre todo de la logística que la CONAGUA establece ante los procesos de extracción, que son atendidos en base a la información hidro meteorológica con la que se cuente de cada una de las cuencas aportadoras.

Existe una particularidad que destaca del resto de los sistemas de abastecimiento de agua del centro del país y posiblemente de toda la República Mexicana. Se exporta agua a otra cuenca,



es decir de la Cuenca del Balsas se manda agua a la Cuenca del Valle de México y a la de Lerma mediante el Sistema Cutzamala.

Esta región a la que pertenece la CVBA siempre ha sido de importancia nacional por lo que su riqueza ambiental representa; recordemos que inicio con la construcción de la presa como parte del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, que producía energía eléctrica para el centro del país y desde entonces, con el firme propósito de garantizar el agua para la generación de energía eléctrica se realizaban constantes esfuerzos para proteger y mantener los bosques productores de agua (esfuerzos hasta entonces aislados).

En la década de los 80's con la instauración del Sistema Cutzamala como una solución a la imperante demanda de agua potable por la explosión demográfica del centro del país, el uso del agua en la cuenca cambio de uso y ahora el consumo humano fue el objetivo. Para mantener ese beneficio se siguió y ahora con mayor entereza considerando a la zona como de prioridad e importancia nacional, por lo que los beneficios en los diferentes sectores, sobre todo los bosques siguieron recibiendo apoyos para garantizar el abasto de agua.

Destacar que no fue sino hasta la creación de la CCVBA en el año 2003, cuando mediante ese grupo colegiado se aterrizaron los apoyos bajo un enfoque multidisciplinario, tomando como base la sustentabilidad del agua y los recursos asociados (suelo y vegetación), haciendo hincapié en disminuir los efectos negativos que las actividades económicas ocasionan al medio ambiente y garantizar los servicios a la población, como el drenaje y el posterior tratamiento de las aguas residuales, todo bajo el contexto de manejo de cuenca. Según el documento: "Sistema Cutzamala, Agua para Millones de Mexicanos", 2005. CONAGUA, el sistema beneficia a cerca de cinco millones de habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y parte de la ciudad de Toluca. Por lo que el monitoreo hidro meteorológico es fundamental, en otras palabras el seguimiento del agua en la cuenca durante las fases del ciclo hidrológico para así poder manejar el balance hidrológico en la planeación de uso de los recursos hídricos de la cuenca.

Bajo este contexto, a pesar de ser el monitoreo un eje fundamental de planeación, no fue sino hasta inicios de la presente década cuando se comenzaron a realizar importantes ejercicios de registrar, ya que con anterioridad solo existía una estación vigente y esta se localizaba en la cortina de la Presa, y pues los valores no eran realmente representativos al resto de la cuenca.



La verdad es que algunas décadas atrás existían algunas estaciones meteorológicas, pero con datos truncos o sin registro y la mayoría de estas se encuentran totalmente abandonadas o ya no existe rastro alguno de la infraestructura. La situación es que varios años se realizó el ejercicio de planeación hídrico con datos de la estación ubicada en la cortina de la presa.

Ante esta situación la CCVBA en el año 2009 comenzó a gestionar ante la Comisión Nacional del Agua y la Comisión de Aguas del Estado de México, la manera de poder incorporar un programa e instalar infraestructura de medición. Ante esta idea fundamental la CCVBA adquiere pequeños dispositivos análogos de medición directa (pluviómetros y termómetros), que instaló en tres partes de la cuenca.

Con base a la clasificación de sección y altitud, se dividió la cuenca en alta, media y baja se colocaron estos dispositivos que con el apoyo del Ejido de Amanalco en la parte alta de la Cuenca, y con el apoyo del personal de la GOP en la parte media y baja, iniciando con la lecturas cada 24 horas todos los días en los últimos meses del año 2009. Formalizando las lecturas para el año 2010.

Desde entonces hemos evolucionado con los equipos de medición, iniciamos como se manifiesta con pluviómetros y termómetros análogos muy sencillos que necesitaban de la lectura directa todos los días a la 8 de la mañana, posteriormente se nos donó por parte de una ONG, PROVALLE DE BRAVO unos lectores electrónicos de precipitación y temperatura, dichos equipos tenían la posibilidad de manifestar la temperatura de manera digital en el momento, con respecto a la precipitación registraba la lluvia acumulada anual y tenía la capacidad de grabar en memoria la lluvia diaria de los últimos 9 días, con lo que a nivel de monitoreo y personal para la realización del registro fue más cómodo.

Para el año 2014 se adquirieron unas estaciones automatizadas con las que se podía medir precipitación, temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento, presión atmosférica y se podían programar hasta con lecturas cada media hora, un equipo muy sofisticado en comparación con los artículos que con anterioridad se había trabajado en el proyecto.

Con estos instrumentos fue posible prescindir de personal para la toma de datos todos los días, además de poder conocer otros elementos meteorológicos y no solo la lluvia y la temperatura, y también con la posibilidad de poder configurar los aparatos para la toma de registro en intervalos que van desde media hora, dos, cuatro, seis, ocho, doce y veinticuatro horas.

Se pudo contar con un mayor número de estos equipos, que se pudieron sustituir los tres puntos de monitoreo original y poder registrar otros sitios especiales como la micro cuenca de San Francisco Mihualtepec, Donato Guerra; en la parte baja de la cuenca se colocaron dos estaciones una en el extremo Sur en las instalaciones de CASA VIVA en Mesa Rica, Valle de Bravo y la otra en el extremo Norte en las instalaciones del Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo. Y recientemente una más en la Cabecera Municipal de Donato Guerra, que si bien esta última esta fuera de la Cuenca, si está en un sitio en el que podemos trabajar análisis con las cuencas vecinas del Cutzamala.



Ubicación de las Estaciones meteorológicas en la cuenca

RESULTADOS DEL MONITOREO

Desde el año 2010 sabemos cómo se comporta la precipitación en las diferentes partes de la cuenca y esta información es analizada y cruzada con los niveles de almacenamiento de la Presa de Valle de Bravo, (que además coincidió con las lluvias extraordinarias de las últimas décadas). Y al realizar el análisis de la información nos encontramos que podemos inferir mucha información que tienen que ver de cuál es el comportamiento de agua a través de la cuenca antes de llegar a su punto final en la presa.



El comportamiento también de la temperatura, por ejemplo durante la presente década han existido dos episodios importantes de crecimiento de cianobacterias en la presa y hoy sabemos que a pesar de ver sucedido en condiciones diferentes en cuanto a niveles de la presa, temperaturas y sobre todo a la época del año, este episodio esta perfectamente relacionado con un aumento y disminución de la temperatura.

En mayo – junio de 2011 se presentaron la temperaturas más altas de las últimas décadas, lo que provoco que la temperatura de la presa aumentara de manera importante, manifestando hasta 28° C, en muchas ocasiones por arriba de la temperatura ambiente, además de que coincidía con un periodo de estiaje en el que normalmente el nivel de la presa se encuentra bajo. Es importante mencionar que la estación de la parte baja de la cuenca registro 32.5° C de temperatura ambiente, muy elevada para la latitud y altitud en la que nos encontramos.

El caso opuesto se presentó en enero – febrero del 2016, en donde surgió otro afloramiento de cianobacterias, en esta ocasión con niveles de más del 90% de almacenamiento y con temperatura menores, y cuando nos referimos a menores, hablamos de que se registraron temperaturas muy cercanas a los 3° C, que para la latitud y altitud en la que nos encontramos también son extremas, durante este periodo se tuvieron la temperaturas más bajas de las últimas décadas, e inclusive fuera de la memoria de los habitantes de la zona, aparentemente con esta baja de temperatura ambiente se modificó la temperatura de la columna de agua de la presa, perdiéndose la termoclina, al unificar la temperatura de la superficie con la del fondo, lo que provoco un intercambio de nutrientes de la parte anoxica con la superficie, manifestándose en nutrientes que promovieron el creciente de las algas.

En Ambos casos no hubiera sido posible tener datos de temperatura de no haber contado con estaciones o con equipo de monitoreo, si bien sabemos que las autoridades Federales y Estatales a través de algunas dependencias ya comienzan a hacer el monitoreo, difícilmente se tiene acceso a esa información en tiempo y forma.

CONCLUSIONES

La parte importante, es que al inicio de la década, con los esfuerzos operativos y las gestiones realizadas, se comenzó a modernizar e instalar un sistemas de monitoreo por parte de la



CONAGUA en el Gobierno Federal y por la Comisión de Aguas del Estado de México (CAEM), al instalar una red de estaciones meteorológicas, aunque con la dificultad como mencionamos de poder acceder a los datos, pero de alguna forma creemos que la CCVBA sentó la bases para que estas dependencias iniciaran con un proyecto que les permita tener información hidro meteorológica que sea útil para realizar una gestión integrada de los recursos hídricos a nivel de cuenca y sobre todo en una cuenca como la nuestra en donde el uso final del agua es beneficiar habitantes del centro del país a través del Sistema Cutzamala.

Durante los años que la CCVBA ha incorporado este programa de monitoreo, ha brindado y proporcionado la información obtenida a los diferentes sectores que integran este grupo colegiado, de manera periódica se hace un informe, sobre todo en la época de lluvias, esta información es vinculada con los datos de almacenamiento y de la meteorología estatal y nacional del portal de Servicio Meteorológico Nacional. También la información ha sido solicitada por estudiantes e investigadores que tiene como referencia de estudio algún punto de esta importante cuenca.

En otro echo o anécdota de uso de información hidro meteorológica producto del monitoreo de la CCVBA, tenemos que en los trabajos de saneamiento de misma cuenca, una empresa realizó obras y en sus informes y bitácoras de trabajo, presentaba días y horas muertos por causa de lluvia, entonces acudió para consultar los días de precipitación para verificar la información y ponerse al corriente con sus detalles administrativos.

Ahora bien estrictamente todas las acciones que la Comisión Nacional del Agua y el Gobierno Estatal realizan, son para garantizar la seguridad hídrica de dichos beneficiarios. De aquí la importancia de carácter nacional que ha adquirido nuestra cuenca, pero la paradoja es que exportamos agua a otras latitudes y existen habitantes que no disponen de ella en nuestras propias comunidades o lo peor, hay conflictos entre los diferentes usos en la cuenca, de aquí que con el uso de la información obtenida de las estaciones se puede planear el uso racional del agua en los diferentes sectores productivos de la cuenca y así también garantizar el uso final del agua, es decir garantizar una seguridad hídrica al interior de la fuentes del Cutzamala.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:



- Pichardo, I., Chávez, V., Vilchis, J., López, R., Plata, H., Arias, M. (2011) “Comisión de Cuenca Valle de Bravo - Amanalco, Ocho Años de Gestión y de Sustentabilidad Hídrica”. CCVBA.
- Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2005). “Plan para la Gestión Integral del Agua y Recursos Asociados de la Cuenca Valle De Bravo, Estado De México”.
- Biblioteca Mexiquense del Bicentenario, Colección Mayor, (2009) “CULTURA DEL AGUA, Hacia un Uso del Recurso Vital”, Gobierno de Estado de Mexico.
- CONAGUA. (2005) “Sistema Cutzamala, Agua para Millones de Mexicanos”.
- Informe de Manantiales de la CVBA. (SMA GEM, 2006). Centro de Documentación de la CCVBA
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo General de Población y Vivienda 2000.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo General de Población y Vivienda 2010.
- Bunge, V., Martínez, J. y Ruiz-Bedolla, K. (2012) “Escenarios de la dinámica hídrica de la región de aporte del sistema Cutzamala”. Documento de Trabajo de la Dirección General de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México. Disponible en:
http://inecc.gob.mx/descargas/cuencas/doc_trabajo_dinamica_hidrica_cutzamala.pdf
- CNA. Estadísticas del agua en México, 2010. Comisión Nacional del Agua. México. 2005.
- Coordinación de Estudios y Proyectos Especiales, Secretaría del Medio Ambiente. Diciembre 2012. Localización y caracterización de Manantiales en el Estado de México. En:
http://portal2.edomex.gob.mx/sma/parques_areas_naturales/manantiales_del_estado/index.htm
- <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF>
- CNA Estadísticas del Agua en la cuenca del Río Balsas, 2010 Comisión Nacional del Agua, 2011.
- <http://www.conagua.gob.mx/OCB07/Contenido/Documentos/EstadisticasBALSAS.pdf>



Extenso ID: 206. Luis Andrés Gómez Urieta^{1a}, Eduardo Gabino Aragon Chanona^{2b} José Reyes Díaz Gallegos^{3c}. ANÁLISIS DE LA DESTRUCCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS COSTEROS DE LA RIVIERA MAYA, UTILIZANDO FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMÁGENES DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUCIÓN

[Regresar al índice](#)

Universidad de ciencias y artes de Chiapas, Centro de investigaciones costeras, Av. Juan José Calzada prolongación de Guadalupe s/n Col. Evolución, Tonalá, Chiapas.

email: andres_urietta@hotmail.com ^a gabino.aragon@hotmail.com ^b jose.diaz@unicach.mx ^c

RESUME

La Riviera Maya es una región con un desarrollo turístico de nivel internacional, representa una de las fuentes generadoras de divisas más importantes de la República Mexicana, por lo que constantemente surgen nuevos proyectos de inversión turística. A la par de los beneficios económicos del turismo al país, los estragos que este causa son de gran magnitud, debido a que genera una serie de problemáticas antropogénicas que ejercen fuerte presión sobre los ecosistemas costeros presentes en la zona, es por eso que el objetivo de esta investigación es cuantificar la dinámica de transformación de los ecosistemas costeros de la Riviera Maya, utilizando fotografías aéreas digitales de alta resolución e imágenes de satélite mediante los sistemas de información geográfica. Para ello se diseñó un plan de vuelo de la toma de fotografías aéreas, con el objetivo de evaluar el estado físico actual de los ecosistemas costeros. En gabinete se trabajó con dos escenas (1846 y 1946) del satélite Landsat-7 TM del año 2000 que se delimitaron y clasificaron para generar los mapas de usos del suelo y vegetación del año 1988 y 2014 con base en las imágenes de satélite del año 1988 y el mosaico de las fotografías aéreas del 2014. Como resultado se obtuvo un mosaico de 2,300 fotografías aéreas digitales georreferenciadas de alta resolución y sin distorsión del año 2014, con una cobertura superficial total del mosaico de 14,356 ha. Así mismo se obtuvieron los mapas de uso del suelo y vegetación de los años 1988, 2000 y 2014 con sus respectivas matrices de confusión y tablas de cobertura superficial. Los resultados de esta investigación servirán como línea base para futuras tomas de decisiones en el ámbito de la gestión territorial para la conservación y aprovechamiento sustentable, la prevención y control ante desastres naturales e impactos antrópicos así como para aprovechar el alto valor recreativo de la Riviera Maya.

Palabras clave: SIG, fotografía aérea, confiabilidad de los mapas, clasificación de imágenes, deforestación.

1 INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras son áreas de confluencia entre los sistemas terrestres y marinos, los cuales están sujetos a diversos procesos y fenómenos naturales determinados por la interface entre el continente, el océano y la atmósfera (Lara-Lara, 2008). Estas zonas se encuentran constituidas por ecosistemas que albergan gran biodiversidad, con posibilidades de aprovechamiento sustentable derivada de la riqueza de sus aguas y de sus ecosistemas costeros aledaños (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC, 2007). Además los ecosistemas costeros proporcionan diversos servicios a la sociedad, como la estabilidad y protección a la zona costera, son fuente de alimentos, proveen de



materiales para la construcción, regulan el clima, son zonas de recreación y poseen gran variedad de hábitats (Lara-Lara, 2008).

Las zonas costeras han sufrido el impacto de la falta de ordenamiento de las actividades antropogénicas, por ejemplo: la pesca, la acuicultura, el turismo, el crecimiento urbano, los puertos marítimos comerciales (Lara-Lara, 2008) y la deforestación de las regiones costeras tropicales considerado uno de los principales eventos de cambios que está contribuyendo a la pérdida de la biodiversidad, propiciando la fragmentación de los ecosistemas y favoreciendo al cambio climático global (Houghton, 1994; Maser, 2002; Díaz-Gallegos y Acosta-Velázquez, 2009; Díaz-Gallegos, *et al.*, 2010).

La actividad turística de la Riviera Maya ha ocasionado problemas ambientales, urbanos y sociales que requieren análisis para lograr la sustentabilidad de la zona de forma integral (Guillermo y Romero, 2005). Por ejemplo, los rellenos de humedales y manglares son utilizados para la construcción de infraestructura hotelera y residencial, la construcción de carreteras y canales interrumpen el flujo superficial del agua, la contaminación del agua y el blanqueamiento de los arrecifes coralinos provocado por combustibles marítimos, además de la corrupción de las autoridades.

El estado de Quintana Roo geográficamente se ubica dentro de la franja con mayor incidencia de huracanes del país, lo que la hace altamente vulnerable ante estos fenómenos meteorológicos. Los huracanes más importantes que han impactado este estado son, el huracán Gilberto en el año de 1988, Emily y Wilma categoría 4 y 5 respectivamente en el año 2005, Dean y Félix huracanes categoría 5 en el 2007 y por la tormenta tropical Dolly que impactó parte de la Riviera Maya en 2008 (Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED, 2013).

Ante la problemática descrita y dada la relevancia ambiental y económica de la Riviera Maya, optamos por realizar una investigación actualizada, confiable y precisa de la transformación ocurrida en los ecosistemas costeros de esta región en los últimos 26 años. Mediante la utilización integral de análisis de datos obtenidos con técnicas de percepción remota, sistemas de información geográfica y trabajo en campo.

La finalidad de esta investigación es informar a la comunidad con pruebas que registran las problemáticas y condiciones que han sometido a los ecosistemas costeros de la Riviera Maya durante los últimos 26 años y concientizar a la población de los riesgos que está ocasionando la mala planeación del desarrollo urbano y turístico de la región. Mediante el uso de las prácticas adecuadas en el proceso de planificación y diseño de la infraestructura costera, es posible mitigar los efectos causados a los ecosistemas, haciendo posible el desarrollo costero y así preservar su potencial recreativo y productivo. La finalidad es lograr un desarrollo equilibrado, ecológico, económico y social.

La relevancia de esta investigación radica en que es uno de los pocos estudios, que hace un análisis detalladamente de la transformación acelerada de los ecosistemas costeros presentes en la Riviera Maya. Nuestra investigación aporta una base de datos actualizados, precisos y detallados de los cambios ocurridos en la zona, e información útil para mejorar el proceso de la toma de decisiones en el sector ambiental. Los resultados de esta investigación podrán servir como línea base para proyectos futuros, asignar áreas prioritarias para la restauración y conservación, para la prevención y control ante desastres naturales, así como el soporte para aprovechar de forma sostenible el alto valor recreativo de la zona y como un insumo de apoyo en el manejo integral de la zona costera de la Riviera Maya.

Hipótesis: Los ecosistemas costeros de la Riviera Maya presentan las tasas de deforestación más elevadas en México e indicadores de perturbación de manglares muy severos, debido al establecimiento desordenado y sin ninguna regulación integral de las zonas urbanas y de la



infraestructura turística a lo largo de esta región costera de gran importancia turística nacional y mundial.

Objetivo general: Cuantificar la magnitud de los procesos de transformación de los ecosistemas costeros de la Riviera Maya, utilizando fotografías aéreas digitales de alta resolución e imágenes de satélite Landsat-7 con los sistemas de información geográfica e identificar los factores que desencadenan los procesos de destrucción de estos ecosistemas.

Objetivos específicos:

1.- Generar un mosaico de fotografías aéreas digitales de alta resolución de la Riviera Maya del año 2014.

2.-Elaborar mapas de uso del suelo y vegetación del año 1988, 2000 y 2014 aplicando sistemas de información geográfica.

2 Materiales y métodos

La Riviera Maya se encuentra ubicada geográficamente entre las coordenadas extremas 20°07' y 20°53' de latitud norte y 86°52' y 87°38' de longitud oeste (Diario Oficial de la Federación, 2001) en el estado de Quintana Roo, México, al este de la península de Yucatán, dentro de los municipios de Benito Juárez y Solidaridad. Se extiende a lo largo del litoral, desde el norte de Puerto Morelos, pasando por Playa del Carmen, Puerto Aventuras, Akumal y Tulum en el sur, al este con el mar Caribe y al oeste con Lázaro Cárdenas, cuenta con una extensión de línea de costa de más de 100 km de longitud analizada.

A lo largo del litoral del estado de Quintana Roo la distribución de los ecosistemas costeros está en función de las características geomorfológicas de la costa, lo que determina la elevación del suelo y el tipo de ecosistema presente; el modelo de distribución de los ecosistemas en esta región, de este a oeste es el siguiente: arrecifes de coral, playas y dunas, humedales, lagunas costeras y selvas inundables (Molina, *et al.*, 1998). Estos ecosistemas cumplen con un papel relevante en la economía y la calidad de vida de los habitantes de Quintana Roo y constituyen el principal atractivo para el turismo ecológico.

Materiales empleados: base de la cámara, tornillo allen, rondanas, cable acerado, tensores y nudos para cables, cinta tensora, cuerda para escalar, película de nylon auto adherente, cinta de ducto, cinta de aislar, neopreno, funda para cámara fotográfica, cámara digital profesional NIKON D3X, objetivo ultra gran angular 2.4 x de zoom, focal de 10 a 24 mm, filtro para el objetivo 10-24 mm, cámara SONY DSC-WX80, mono pie marca Manfrotto, GPS GARMIN 60CSx, antena para gps marca GARMIN, dispositivo MC-35, cable con conexión D-sub (pin) de 9 contactos, cable USB, Laptop (HP Pavilion g4 Notebook PC), aeronave Cessna 206 modelo 78 modificada, estaciones de trabajo, Workstation Dell T 7500, imágenes de satélite del satélite Landsat-7 del año 2000, las escenas correspondientes son (1946, 1846), cartografía del INEGI representativa de localidades, carreteras, terracerías y ortofotos.

Programas utilizados: Camera Control Pro2, GOOGLE EARTH, SASPLANET, ERDAS IMAGINE 11, ArcMap 10.1, Excel, Access y Word.

La toma de fotografías aéreas digitales de alta resolución de la Riviera Maya, se realizó a través del diseño y ejecución de un sobrevuelo en el año 2014. Los principios metodológicos implementados por la CONABIO en el año 2009 para la toma de fotografías aéreas nos sirvieron como base, modificándola para adaptarla a nuestro equipo de trabajo y operación con la finalidad de obtener mejores resultados.



Diseño del plan y líneas de vuelo

Previo al vuelo se diseñó la ruta del recorrido de la aeronave, en el software Google Earth, con líneas rectas y paralelas sobre el área de estudio desde Puerto Morelos hasta Tulum (Riviera Maya). El recorrido está compuesto por 4 líneas de vuelo, la primera, se colocó sobre la línea de costa y a partir de esta se trazó la segunda línea a una distancia de 400 m hacia el interior del continente y así sucesivamente hasta incluir las 4 líneas de vuelo, el recorrido del sobrevuelo se cargó a un GPS y se voló a una velocidad 200 km/h y a 450 m de altura.

Calibración y configuración de la cámara fotográfica

La calibración de la cámara fotográfica se programó en modo de exposición de forma manual para poder controlar la velocidad de obturación y del diafragma, la apertura del diafragma fue de 10 mm y con un enfoque programado al infinito “∞”. Los parámetros y propiedades de las fotografías se ajustaron considerando la hora y luz del día.

El equipo de operación que utilizamos fue un GPS conectado a la cámara fotográfica que permite grabar información sobre la ubicación geográfica al momento de tomar las fotografías. La precisión del GPS aumento con una antena marca GARMIN, logrando una precisión de 2 m durante todo el vuelo.

Las fotografías aéreas digitales se archivaron en una Laptop que se conectó a la cámara fotográfica por medio de un cable USB, y se instaló el programa Camera Control Pro2, con el cual es posible controlar y modificar algunos de los parámetros de la cámara. El temporizador de obturación se programó a cada 5 segundos tomando en cuenta los 200 km/h, velocidad en que se realizó el vuelo.

Montaje de equipo y toma de fotografías aéreas

Finalizada la calibración y vinculación de los dispositivos a la computadora se continuó con el ensamblaje de la cámara a la base y se montó al costado derecho de la avioneta, para ello, se retiró una puerta para aprovechar el espacio y colocar la base de la cámara sobre el borde de la avioneta, de tal manera que la cámara sobresaliera y obturara de forma vertical hacia el suelo, en seguida se sujetó la base con un cable acerado forrado, tensores y nudos para cables, reforzándolo con una cinta tensora y una cuerda, para evitar que el viento mueva al equipo. La posibilidad de presencia de humedad en la cámara y los dispositivos conectados a ella (GPS Y USB) se minimizo cubriendo el equipo con una película de nylon auto adherente, además de introducirla en una funda especial que se reforzó en las costuras con cinta de ducto.

El sobrevuelo se realizó en dos días (14 y 15 de abril de 2014) para asegurar que las baterías de los dispositivos soportaran fácilmente el funcionamiento de los mismos. Durante el recorrido aproximadamente a cada 10 minutos se comprobaba que cada una de las fotografías aéreas registrara dentro de sus metadatos las coordenadas geográficas y que uno de los GPS marcara los tracks. También se tomaron fotografías panorámicas de las áreas que se consideraban de interés, realizadas con una cámara SONY.

Procesamiento de fotografías aéreas y mosaico fotográfico

Cada una de las fotografías aéreas fueron georeferenciadas para la elaboración del mosaico fotográfico del área de estudio, con el software ArcMap 10.1. Para ello se utilizó el programa SASPLANET del



cual se obtuvieron las imágenes que sirvieron de referencia para la georreferenciación de las fotografías aéreas, ya que este programa permite realizar recortes de imágenes que cuentan con un sistema de coordenadas (georeferenciadas) aunque no actualizadas.

El siguiente paso fue abrir el recorte en el software ArcMap e identificar y abrir la fotografía aérea correspondiente a la zona anteriormente recortada, con ayuda de los puntos de referencia central de cada fotografía. Enseguida se agregaron como mínimo 30 puntos de control sobre la fotografía y luego en el recorte, asegurándose de colocarlos sobre el mismo lugar. Para corroborar que el proceso anterior fue realizado correctamente, se hizo la comparación de cada una de las imágenes georreferenciadas con ortofotos del INEGI correspondientes del año 2004. Con el proceso de georreferenciación de las fotografías aéreas digitales concluido, se continuó con la elaboración del mosaico del área de estudio, para ello en el software ArcMap 10.1

Procesamiento de imágenes de satélite

El siguiente proceso fue realizar la descarga de las imágenes de satélite del área de estudio, las escenas correspondientes son (1946 “sur”, 1846 “norte”), las cuales se obtuvieron del satélite Landsat-7 del año 2000. Se prosiguió a desplegarlas en el software ERDAS IMAGINE 11, se hizo un recorte del área de estudio y se guardaron los archivos de cada escena

El proceso de clasificación supervisada se realizó por separado en cada escena y con base en el algoritmo de máxima verosimilitud espectral (Chuvienco, 1996) que consiste en la creación de campos de entrenamiento básicamente es la selección de píxeles representantes de patrones, lo cual proporciona mayor precisión, menor confusión y mejor identificación de las clases, posteriormente se guarda un archivo nuevo de clasificación

Generación de mapas de usos del suelo y vegetación

Por cuestiones de apreciación y detección de diferencias muy significativas del ritmo de transformación de los ecosistemas costeros de la Riviera Maya, se optó por representar a los mapas en dos secciones, (“norte” de Puerto Morelos a Puerto Aventuras y “sur” de Puerto aventuras a Tulum). Además se les anexó una tabla de datos referente a las superficies de las clases en hectáreas (Ha) y porcentajes (%) del año y sección representada.

Para generar los mapas del uso del suelo y vegetación de los años de análisis, fue necesario trabajar a partir del método interdependiente de la (FAO, 1996) y en base a los archivos “*raster*” obtenidos de la clasificación supervisada de las imágenes satélite Landsat-7 del año 2000, por contar con la mejor resolución. En base a esa clasificación se crearon dos copias para elaborar la clasificación del año 1988 y 2014.

Para crear las capas temáticas del año 1988, se utilizó como referencia las imágenes del satélite Landsat-7 del mismo año, a la cual se le sobrepuso las primeras copias de los polígonos obtenidos de la clasificación supervisada anteriormente descrita, para editarlos e igualarlos de acuerdo a las imágenes de referencia, finalizando con el recalcu del área de los nuevos polígonos (proceso de desactualización mediante la reclasificación y recodificación de los polígonos). En la capa temática del año 2014 se utilizó el mosaico de fotografías aéreas digitales tomadas en el mismo año como referencia, a la cual se le sobrepuso las siguientes copias de los polígonos de la clasificación

supervisada del año 2000 para editarlos e igualarlos al mosaico, finalizando con el recalcu de la área de los polígonos de la nueva capa temática (proceso de actualización mediante la reclasificación y recodificación de los polígonos).

Generación de matrices de confusión

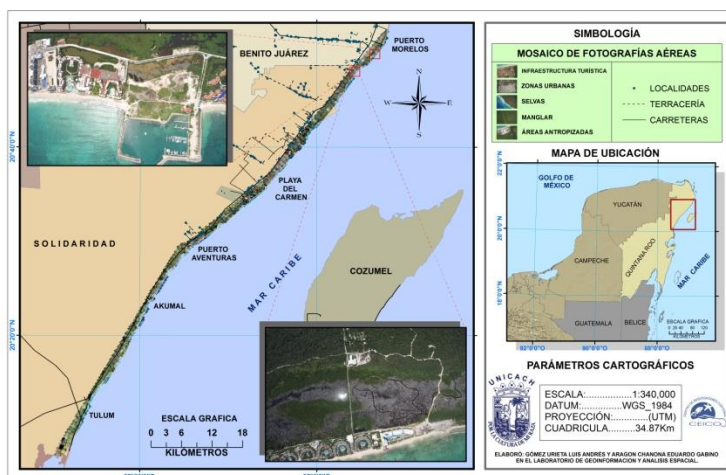
Los mapas terminados fueron sometidos a un proceso de validación, para estimar la confiabilidad temática que consiste en comparar la información del mapa con información de referencia considerada muy confiable.

En los mapas de uso de suelo y vegetación de esta investigación se verificaron 10 muestras de cada clase, seleccionados aleatoriamente en toda el área de estudio, lo que permitió realizar la comparación entre las capas temáticas (uso del suelo y vegetación) y las referencias (imágenes de satélite o mosaico de fotografías aéreas) de esta manera se generó la matriz de confusión y se calcularon los índices de confiabilidad de los mapas.

3 RESULTADOS

Mosaico de fotografías aéreas digitales de alta resolución

Las fotografías aéreas digitales de alta resolución se muestra en color verdadero, tiene una resolución espacial de un metro, cubre una superficie de 85 ha y cuenta con un traslape de 30% de su superficie entre las fotografías. El mosaico general cuenta con 2,300 fotografías aéreas digitales georeferenciadas de alta resolución y sin distorsión significativa, la cobertura superficial es de 14,356 ha con 1.7 km de ancho y 100 km de largo (Figura 1).



Confiabilidad global de los mapas

La validación del mapa de uso del suelo y vegetación del año 1988, presenta una confiabilidad global de 94.28%; de 140 muestras totales, 132 sitios fueron correctamente identificados y los 8 restantes confundidos.

La confiabilidad global del mapa de uso del suelo y vegetación del año 2000 es de 92.85%; de un total de 140 muestras, 130 sitios fueron correctamente identificados y los 10 restantes confundidos.

La validación del mapa del uso del suelo y vegetación del año 2014, se hicieron 150 muestreos debido a que existe una clase más que fue “manglar degradado”, por lo tanto la confiabilidad global de este mapa fue de 93.33%, 140 muestras correctamente identificadas y 10 confundidas (Cuadro 1).

Figura 1. Mosaico de fotografías aéreas digitales de alta resolución del 2014 de la Riviera Maya, Quintana Roo,

Cuadro 1. Matriz de confusión: uso del suelo y vegetación del año 2014.

MAPA DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DEL AÑO 2014									
	ÁREA ANTROPIZADA	HUMEDAL	INFRAESTRUCTURA TURÍSTICA	MANGLAR	MANGLAR DEGRADADO	PLAYA	SELVA	ZONA URBANA	
ÁREA ANTROPIZADA	18	0	0	0	0	0	2	0	10.00
HUMEDAL	0	16	0	2	0	0	2	0	20.00
INFRAESTRUCTURA TURÍSTICA	0	0	20	0	0	0	0	0	0.00
MANGLAR	1	1	0	17	0	0	1	0	15.00
MANGLAR DEGRADADO	0	0	0	0	10	0	0	0	0.00
PLAYA	0	0	0	0	0	20	0	0	0.00
SELVA	0	0	0	0	0	0	20	0	0.00
ZONA URBANA	0	0	1	0	0	0	0	19	5.00
ERROR DE COSIMSIÓN	5.27	5.89	4.77	10.53	0.00	0.00	20.00	0.00	
CONFIABILIDAD DE USUARIO	94.73	94.11	95.23	89.47	100.00	100.00	80.00	100.00	

Cuadro 2. Datos de cobertura de superficies del uso del suelo y vegetación del año 1988.

CLASES 1988	Ha	%
ÁREA ANTROPIZADA	1,492.36	11
HUMEDAL	900.01	6
INFRAESTRUCTURA TURÍSTICA	182.06	1
MANGLAR	3,187.85	22
PLAYA	649.48	5
SELVA	6,941.26	48
ZONA URBANA	1,002.92	7
TOTAL	14,355.93	100

Mapa de uso del suelo y vegetación de la Riviera Maya del año 1988

Las clases con mayor extensión fueron las selvas y los manglares y en el caso contrario se observa a los humedales, que se encuentran ubicados principalmente en Puerto Morelos, Tulum; se detectó una fuerte deforestación y pequeños parches de zonas urbanas en las localidades de Puerto Morelos-Playa del Carmen y el inicio del desarrollo de la infraestructura turística en la localidad de Puerto Aventuras, en la sección sur de la localidad de Akumal a Tulum se observan principalmente trazos carreteros y pequeños polígonos de uso urbano (Figura 3 y 4) .

Las áreas antropizadas y las zonas urbanas ya se presentaban en 1988 con un área de 2,495.28 ha entre las dos clases, mientras que la infraestructura turística empezaba a desarrollarse en la Riviera Maya con apenas 182.06 ha desde ese entonces ya se notaban claras diferencias en el ritmo de transformación de la Riviera Maya, la presión de las actividades antrópicas desde ese momento estaban concentrándose en lugares como Puerto venturas, Playa del Carmen y Puerto Morelos (Cuadro 2).

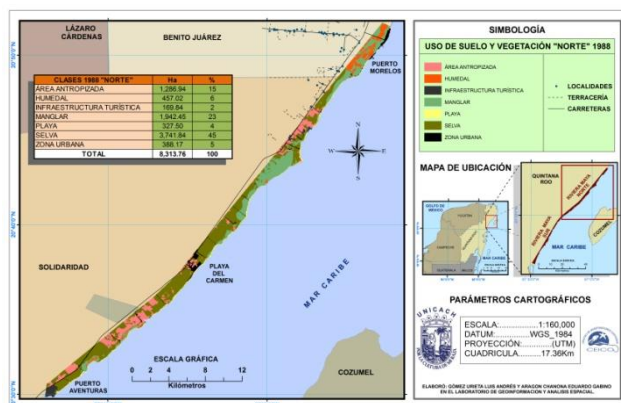


Figura 3. Uso del suelo y vegetación de la Riviera Maya "sección norte" del año 1988.

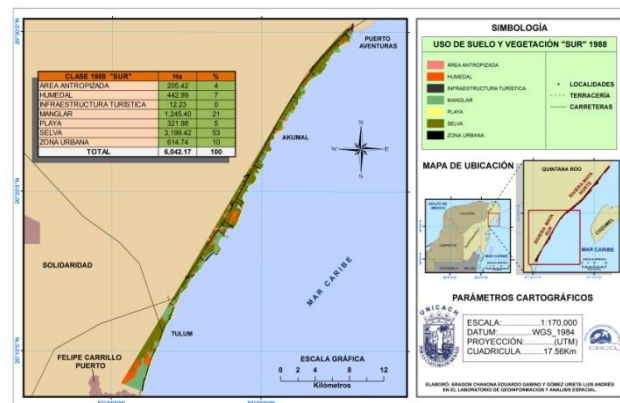


Figura 4. Uso del suelo y vegetación de la Riviera Maya "sección sur" del año 1988.

Mapa de uso del suelo y vegetación de la Riviera Maya del año 2000

En el siguiente mapa se nota un crecimiento de las zonas urbanas de 821.73 ha más desarrollado en la sección norte del área de estudio y con ello se logra la consolidación de la ciudad de Playa del Carmen, el desarrollo turístico muestra también un incremento extenso de más de cuatro veces su tamaño, precisamente 664.62 ha comprendiendo Puerto Aventuras y nuevos parches aledaños a Puerto Morelos, Playa del Carmen y cercanías de Akumal.

Cuadro 3. Datos de cobertura de superficie del uso del suelo y vegetación del año 2000.

CLASES 2000	Ha	%
ÁREA ANTROPÍZADA	1,040.52	7
HUMEDAL	989.95	7
INFRAESTRUCTURA TURÍSTICA	846.68	6
MANGLAR	2,873.61	20
PLAYA	559.19	4
SELVA	6,222.07	43
ZONA URBANA	1,824.65	13
TOTAL	14,356.66	100

El incremento de estas dos categorías se debe en gran medida a que se utilizaron áreas antropizadas para su establecimiento, es por eso que se nota una reducción de 451.84 ha en la superficie total de esta categoría, en el caso de los manglares y selvas presentan una disminución de superficie de 314.24 ha y 719.19 ha respectivamente (Cuadro 3, Mapa 5 y 6).

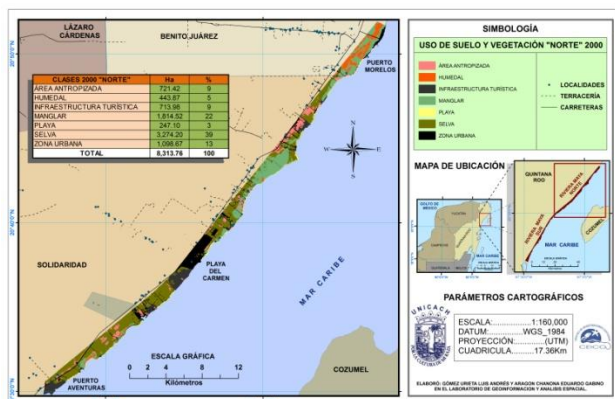


Figura 5. Uso del suelo y vegetación de la Riviera Maya "sección norte" del año 2000.

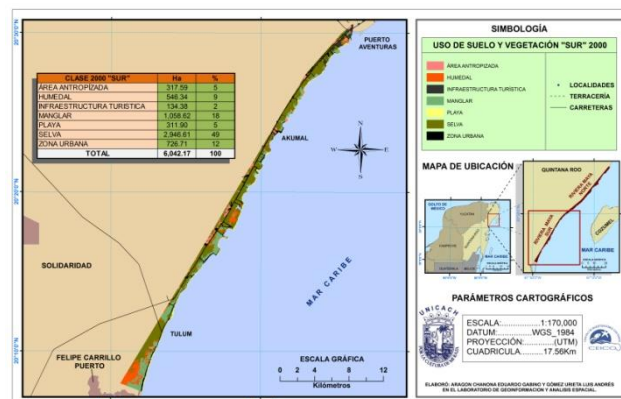


Figura 6. Uso del suelo y vegetación de la Riviera Maya "sección sur" del año 2000.

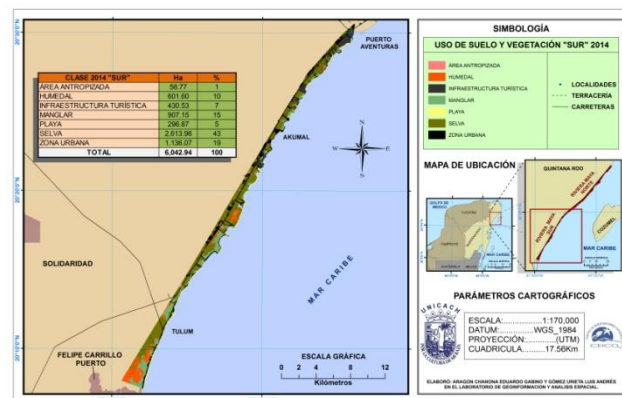
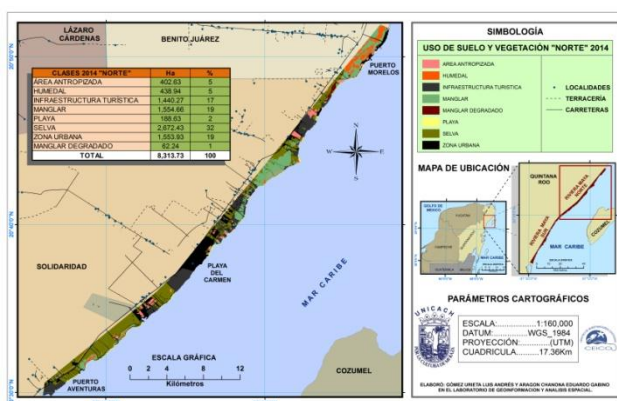
Mapa de uso del suelo y vegetación de la Riviera Maya del año 2014

A diferencia de los análisis anteriores, en este año se identificó y cartografió una clase más, que se definió como manglar degradado ocupando una extensión de 62.24 ha ubicándose cerca de la localidad de Puerto Morelos.

Nuevamente se detectó un incremento de las zonas urbanas de 865.34 ha e infraestructura turística de más del doble 1,024.12 ha que se extendieron de norte a sur entre las localidades de Puerto Aventuras y Akumal y en menor medida hacia Tulum, actualmente se considera como un incremento invasivo ocupando 73.69 ha de playas y absorbiendo grandes áreas de selvas 935.69 ha y manglares 411.8 ha las áreas antropizadas disminuyeron 581.12 ha, afortunadamente están poco presentes en la sección sur, aunque en la sección norte aun ocupan zonas mucho más amplias y la tendencia de la construcción de tramos carreteros sigue en aumento (Cuadro 4, Mapa 7 y 8).

Cuadro 4. Datos de cobertura de superficie del uso del suelo y vegetación del año 2014.

CLASES 2014	Ha	%
ÁREA ANTROPIZADA	459.40	3
HUMEDAL	1,040.54	7
INFRAESTRUCTURA TURÍSTICA	1,870.80	13
MANGLAR	2,461.81	17
PLAYA	485.50	3
SELVA	5,286.38	37
ZONA URBANA	2,689.99	19
MANGLAR DEGRADADO	62.24	1
TOTAL	14,356.66	100



Análisis comparativo del

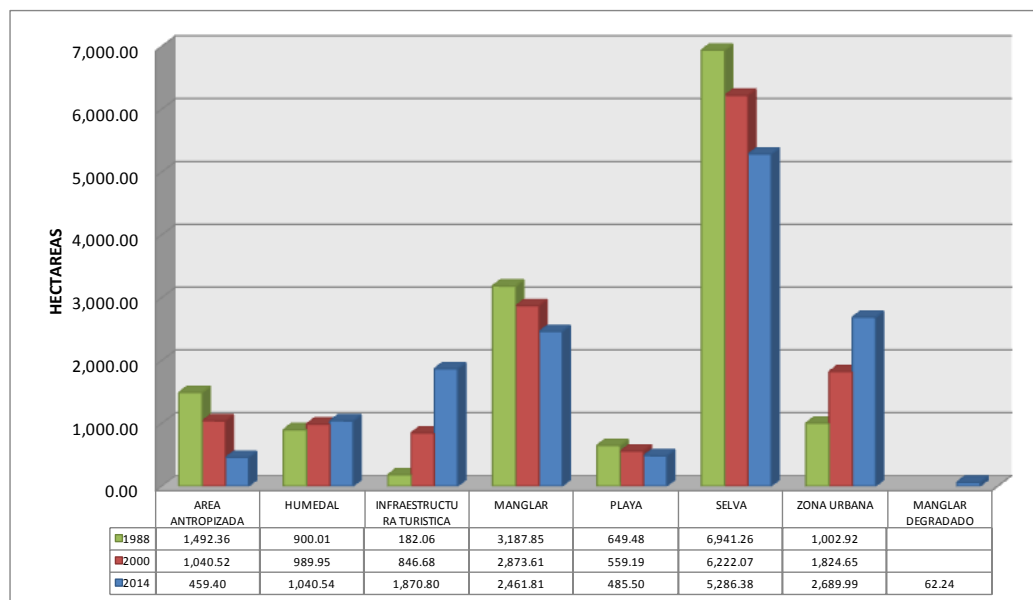
Figura 7. Uso del suelo y vegetación de la Riviera Maya "sección norte" del año 2014.

Figura 8. Uso del suelo y vegetación de la Riviera Maya "sección sur" del año 2014.

comportamiento de clases y superficies en los tres años de estudio

A continuación se muestra la variación de las diferentes clases en los tres años comparados, observándose las tendencias de incremento y decremento de unas y otras clases.

Las áreas antropizadas presentan disminución gradual de su cobertura, ya que la deforestación masiva que se realizó en un principio están siendo utilizadas para la construcción de infraestructura, lo que da lugar al incremento potencial de zonas urbanas e infraestructura turística y como consecuencia ocasiona la pérdida de las selvas y manglares; también se muestra el poco incremento de los humedales y la disminución de las playas, además de la aparición de la categoría de manglar degradado solo presente en el año 2014 ver (Gráfica 4).



Grafica 1. Dinámica comparativa de las clases de los años analizados.

4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados más relevantes fueron la estimación de una superficie total de 2,461.81 ha de manglares en la Riviera Maya del año 2014, que representa aproximadamente el 1.89% de los 129,921 ha como superficie global del estado de Quintana Roo, que constituye el 16.87% de los 770,057 ha total nacional de superficie de manglares (CONABIO, 2009; Acosta-Velázquez *et al.*, 2010).

En el año 2006 (Díaz-Gallegos, *et al.*, 2012) identificaron manglar degradado, registrando 5,487 ha en Teacapán Agua Brava, 56 ha en el sistema lagunar de Alvarado y 44 ha en la laguna de Términos, siendo los dos últimos datos los más similares al presentado en esta investigación donde se cuantificó una superficie de 62.24 ha en el año 2014.

En esta investigación se logró optimizar un proceso metodológico de la toma de las fotografías aéreas gracias a la implementación de la aeronave cessna 206 “avioneta” que proporciona gran estabilidad y mínima vibración durante el vuelo y a nuevas tecnologías como la cámara fotográfica de última generación, la implementación de una Laptop y el software Cámara Control Pro 2 que ayudaron a tener un mejor control de la calidad de las fotografías.

Las principales causas del cambio de uso de suelo y vegetación en los trópicos son la expansión de infraestructura turística y la infraestructura de transporte (Montero, 2012). La serie de fotografías aéreas del 2014 nos permitió identificar un gran incremento en la infraestructura turística, zonas urbanas y construcción de tramos carreteros que atraviesan grandes extensiones de vegetación, ocasionando la interrupción del flujo del agua, lo que conlleva a la degradación de los ecosistemas, siendo estos los principales indicadores de destrucción y degradación de los ecosistemas costeros de la Riviera Maya, cumpliendo con los objetivos establecidos en esta investigación.



Por lo tanto se sugiere una regulación y buena planeación en este tipo de construcciones como por ejemplo; tramos carreteros asentados sobre pilares de concreto y no sobre rellenos hechos con materiales de construcción que interrumpen el flujo de agua.

El comportamiento de la sección norte en comparación con la sur, ha tenido un crecimiento más acelerado en cuestión del desarrollo urbano y turístico, debido a ciudades como Cancún y Playa del Carmen que funcionan como polo de atracción de actividades antrópicas turísticas, las cuales causan gran influencia a zonas cercanas a esos polos y a medida que la distancia es mayor las actividades se siguen desarrollando pero a menor escala, por eso en la sección sur el desarrollo del turismo ha venido creciendo moderadamente.

En el transcurso de los últimos 26 años en la Riviera Maya se cuantificaron procesos de cambios derivados del incremento del desarrollo de infraestructura turística, a pesar de que cada una de las localidades cuentan con ordenamientos ecológicos territoriales; no se ha tenido un buen manejo y cuidado, lo que está provocando la destrucción y disminución principalmente humedales, manglares y selvas.

Esta metodología servirá como una alternativa para facilitar la obtención y manejo de la información geográfica. Su potencial radica en que el costo puede considerarse accesible, la inversión de las herramientas y equipo de trabajo utilizado es relativamente bajo en comparación con los métodos convencionales, tiene la posibilidad de tomar las fotografías por debajo de la capa de nubes. Es de rápida implementación en el caso de desastres naturales, además se puede disponer con mucha rapidez de los resultados y se tiene independencia de fuentes externas.

Esta investigación es confiable, de vanguardia e innovadora puesto que generó un mosaico de fotografías aéreas digitales de alta resolución, la cual es una tecnología que puede aplicarse en la evaluación de impactos en diferentes tipos de ecosistemas y cualquier región del mundo y que no se ha implementado antes en ninguna tesis de licenciatura.

Se sabe que el medio va cambiando con el paso del tiempo y es por ello que se recomienda una actualización de este programa, lo que implicaría un nuevo estudio y análisis sobre el medio, los usos del suelo y vegetación, caracterización de flora, fauna y las diferentes actividades antrópicas que se estén desarrollando en cinco años máximo. De acuerdo con lo anterior establecer los nuevos lineamientos y estrategias para la protección, conservación y desarrollo sustentable de los recursos naturales que proveen los ecosistemas costeros.

Los resultados de esta investigación podrán utilizarse como soporte científico para llevar a cabo un proceso de planeación que conduzca al buen uso y conservación de los ecosistemas costeros de la Riviera Maya: Manifiesto de impacto ambiental, Programas de prevención de riesgo, Ordenamientos ecológicos territoriales “locales”, Programas de desarrollos urbanos y en materia de catastro se puede generar información de estudios sociográficos, geodésicos del medio físico y los recursos naturales, así como de sus interacciones, su localización geográfica y su representación en los productos cartográficos obtenidos.



5 AGRADECIMIENTOS

A nuestro director de Tesis M. EN C. José Reyes Díaz Gallegos le agradecemos el compromiso, guía, apoyo, profesionalismo y principalmente la enseñanza que nos ha dado de principio a fin en la elaboración de la investigación científica. A nuestra asesora M. EN C. Joanna Acosta Velázquez le agradecemos el tiempo, dedicación y acertadas observaciones que nos brindo para llevar a cabo este trabajo de investigación. Y al laboratorio de Geoinformación y Análisis Espacial del Centro de Investigaciones Costeras (CEICO) de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) sede Tonalá, Chiapas, por brindarnos el espacio y equipo de trabajo, necesario para desarrollar esta investigación.

6 REFERENCIAS

- Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Rodríguez-Zúñiga, T., Cerdeira-Estrada, S., Troche-Souza, C., Cruz, I., Ressler, R., Jiménez-Rosenberg, R. 2010. Aplicaciones de Percepción Remota en el Inventario y Monitoreo de Ecosistemas Costeros en México. XIV International. SELPER, Symposium. Guanajuato, México. ISBN 978-607-441-100-3
- CENAPRED. 2013. Centro Nacional De Prevención de Desastres: Ciclones Tropicales. México, DF. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php/riesgos-hidrometeorologicos/ciclones-tropicales-huracanes> (Consulta: 15 de Febrero 2014).
- Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial, 3ra. ed., Ediciones RIALP, Madrid, España. 568 p.
- CONABIO. 2009. Manglares de México: extensión y distribución (2° ed.). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. 99 p.
- Congalton, R. y Green, K. 1999. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Florida, USA. Lewis Publisher.
- Díaz-Gallegos, J. y Acosta-Velázquez, J. 2009. Tendencias en la transformación del uso de suelo y vegetación aledaña. En: Espinoza-Avalos, J., Islebe, G. y Hernandez-Arana, H. (eds). El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: Costa occidental del Mar Caribe. ECOSUR. 226-237 pp.
- Díaz-Gallegos, J., Acosta-Velázquez, J., Rodríguez-Zuñiga, M., Cruz, I., Vázquez-Lule, A., Troche, C., Jiménez, R. 2012. The mangroves forest of México: transformation, conservation on threats. En: Thangadurai, D., Busso, C., Abarca Arenas, L. y Jayabalan, S. Frontiers in biodiversity studies. New Delhi, India: I.K. International publishing house Pvt. Ltd. 258-290 pp.
- Díaz-Gallegos, J., Francois Mas, J. y Velázquez Montes, A. 2010. Patterns and trends of deforestation of tropical forest in Southeast México. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Unidad Foránea Morelia, Aquiles Serdán, Morelia, Michuacán. 31, 2, 180.
- FAO. 1996. Forest resources assessment 1990. Forestry paper 130. FAO. Roma, Italia. 153 p.
- Guillermo García, L. y Romero Gutiérrez, Y. 2005. Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio Benito Juárez, Quintana Roo. Benito Juárez Quintana Roo. 90 p.
- Houghton, R. 1994. The Worldwide extends of land-use change. *Bioscience*. 44: 305-306.



- INECC. 2007. Instituto nacional de ecología y cambio climático: Recursos Marinos y Ecosistemas Costeros. http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/100/cap3_2.html. (Consulta: 15 de febrero 2014).
- Lara-Lara, J. 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. En: CONABIO, Capital natural de México. Conocimiento actual de la biodiversidad. México. Vol. 1: 109-134 pp.
- Masera, O. 2002. Bosques y cambio climático en América Latina. Análisis y perspectivas. En: Leff, E., Ezcurra, E., Pizanty, I., Romero, P. (Comps.). La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectiva de América Latina y Caribe. Instituto Nacional de Ecología. México. 211-235 pp.
- Molina, C., Rubinoff, P. y Carranza, J. 1998. Normas practicas para el desarrollo turístico: De la zona costera de Quintana Roo, México. 1ª ed. Amigos de Sian Ka'an. 93 p.
- Montero, J. 2012. Análisis espacial de la deforestación en Quintana Roo, una aproximacion a las causas. Universidad de Granada y Universidad Veracruzana. España. 134 p.



Extenso ID: 16. Álvarez-Gallegos, M¹³., Vargas – Larreta, B¹., Aguirre – Calderón, C. G¹., Aguirre – Calderón, C.E. ¹, Reza-Reza, K. ¹. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS OBRAS DE CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE SUELOS EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO NAZAS.

[Regresar al índice](#)

IMPACT EVALUATION OF WORKS CONSERVATION AND REHABILITATION OF SOILS AT THE UPTOWN OF THE WATERSHED NAZAS RIVER.

³Autor para la correspondencia: aagm81@yahoo.com.mx

Instituto Tecnológico de El Salto. Mesa del Tecnológico s/n. C.P. 34942. Teléfono: 675 87 65509 y 618 1340334. www.itelsalto.edu.mx

RESUMEN

El año 2009, el Instituto Tecnológico de El Salto realizó un diagnóstico de la parte alta de la cuenca del río Nazas que incluye una superficie de 18,310 km², incluyendo 10 municipios del estado de Durango. El agua que se utiliza en la región lagunera de los estados de Durango y Coahuila en un 80% depende del río Nazas, misma que es producida en la parte alta de la cuenca, de ahí la importancia de un manejo adecuado de esta zona. Derivado del diagnóstico, se decidió instrumentar dos microcuencas y monitorear el impacto de las obras de conservación y rehabilitación de suelos de la parte alta de la cuenca del río Nazas. Cada año con inversión del Gobierno Federal a través de la Comisión Nacional Forestal y, el Gobierno del estado de Durango, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de más de 20 millones de pesos para la construcción de obras de conservación de suelos justifica su evaluación, además de lo que invierte la organización no gubernamental Irritila. El proyecto inició el año 2012 y hasta la fecha se han monitoreado las variables siguientes: calidad del agua (pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, fosfatos, nitratos, nitritos, temperatura del agua, temperatura ambiente y turbidez), erosión laminar y en cárcavas, sedimentos retenidos en las presas filtrantes y vegetación. Para recopilar esta información se establecieron 30 parcelas de clavos y rondanas, 20 transectos de cárcavas y 6 sitios de medición de la calidad del agua. Los resultados que se han obtenido son interesantes y varían de acuerdo a las condiciones específicas de los sitios. Se han hecho comparaciones de la magnitud de la erosión en suelos con y sin obras. La calidad del agua en algunas variables no cumple con las normas oficiales. El proyecto tendrá una duración de al menos 10 años más.

Palabras clave: erosión, calidad del agua, obras de conservación de suelos.

INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Río Nazas se localiza desde el oeste del estado de Durango hasta la parte suroeste del estado de Coahuila, tiene una superficie de 71,900 km² la mayor parte del tramo del Río Nazas se ubica en Durango y solo una pequeña parte en Coahuila, este río fluye a través de una red que drena predominantemente en dirección oeste-este.



La Cuenca del Río Nazas representa la principal fuente de los escurrimientos superficiales en la Región Hidrológica 36. Esta se ubica principalmente en el estado de Durango, originándose en la Sierra Madre Occidental a una altitud superior a los 3000 msnm. Esta cuenca representa un sistema de drenaje endorreico en el que se puede diferenciar los escurrimientos ordenados, que van desde su nacimiento en la sierra de Durango, hasta una altitud de 1150 m sobre el nivel del mar y su colector principal denominado Laguna de Mayarán que presenta escurrimientos difusos. (CENID RASPA-ORSTOM, 2004 en Loyer, Estrada Ávalos y Descroix)

En el año 2009, el Fondo Metropolitano de La Laguna, a través del Instituto Tecnológico de El Salto, realizó un diagnóstico de la Región Hidrológica 36 con el fin de identificar la situación actual de los recursos naturales, de las actividades que los habitantes llevan a cabo y de los impactos que generan. De dicho diagnóstico se generaron estrategias para conservar y recuperar la capacidad productiva de la cuenca y promover el desarrollo sustentable de la región (ITES, 2010).

Esta investigación que tuvo como finalidad monitorear el impacto de las obras de conservación y rehabilitación de suelos en la parte alta de la Cuenca del Río Nazas.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada en el sistema montañoso denominado Sierra Madre Occidental (SMO). El área de estudio (Figura 1) se encuentra entre las coordenadas 24°14' 5.42" de latitud Norte y 105°11'21.20" de longitud Oeste, a 80 km. al noroeste de la ciudad de Durango (INEGI, 1984).

Suelos.

El área de estudio comprende diferentes tipos de suelos, de los cuales predominan los cambisoles, litosoles, feozems y regosoles.

Clima.

Uno de los factores determinantes para la distribución de los climas en el estado de Durango parece ser la barrera constituida por la Sierra Madre Occidental, que detiene los vientos húmedos, presentándose, la mayor parte de la sierra, por su altitud, tiene un clima subhúmedo templado o semifrío, que se vuelve templado o semiseco en el lado Oriental de la Sierra y en buena parte de la franja central del estado (García, 1987).

2.4. Métodos

2.4.1. Método de clavos y rondanas.

Consiste en utilizar clavos de 30 cm de largo con rondanas, colocados a lo largo de un transecto. La rondana se coloca de manera que descansa sobre la superficie del suelo, tocando ligeramente la cabeza del clavo. El propósito de la rondana es marcar cortes en el terreno ocasionados por erosión y de esta forma medir el espesor de la capa de suelo perdido. En campo se procedió a establecer parcelas de medición de forma cuadrada de 10*10 m, con una superficie de 100 m².

2.4.2. Método de transectos de cárcavas.



Los canalillos y cárcavas someras se miden a lo largo de un transecto. Es conveniente localizar transectos estacados al contorno, aproximadamente de 15 m. La profundidad y anchura se miden con una cinta métrica.

2.4.3. Calidad del agua

Para obtener las muestras se establecieron sitios con características diferentes en el área de estudio, en el que se tomaron muestras de agua para realizar los análisis correspondientes. Las variables de calidad del agua monitoreadas fueron: Temperatura del agua, Oxígeno disuelto, pH, Conductividad eléctrica, Nitratos, Nitritos, Fosfatos y Turbidez

2.4.4. Determinación de la condición física de la obra

La condición física de las presas se efectuó mediante observación directa, los criterios a considerar fueron si la obra estaba presente, funcionando, intacta, parcial o totalmente destruida, en caso de daños, las partes dañadas de la estructura y el porcentaje de destrucción.

RESULTADOS

A continuación, se presentan y analizan los datos obtenidos en el monitoreo de la Cuenca Alta del río Nazas.

3.1. Calidad del agua

De acuerdo con la información obtenida en las mediciones de calidad del agua, se obtuvieron los resultados siguientes:

3.1.1. Oxígeno disuelto

La situación del oxígeno disuelto se presentó de la siguiente forma.

Cuadro 1. Datos de oxígeno disuelto para seis sitios en la parte alta de la cuenca del río Nazas

Oxígeno disuelto (mg/l)						
medición	sitio 1	sitio 2	sitio 3	sitio 4	sitio 5	sitio 6
M1	3.5	5.5	4.3	1.9	7.2	7.1
M2	4.6	6.1	1.9	4.1	5.3	3.3
M3	3.9	4.5	3.1	4	3.4	5
MEDIA	4.00	5.37	3.10	3.33	5.30	5.13

3.1.2. Nitritos

Los resultados del monitoreo de nitritos se presentan en el cuadro siguiente.

Cuadro 3. Datos de nitritos para seis sitios en la parte alta de la cuenca del río Nazas

Nitritos (mg/l)						
medición	sitio 1	sitio 2	sitio 3	sitio 4	sitio 5	sitio 6
M1	0.022	0.014	0.036	0.036	0.03	0.016
M2	0.027	0.019	0.038	0.0265	0.017	0.012
M3	0.012	0.011	0.023	0.017	0.0235	0.009
MEDIA	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01

3.1.3. Nitratos

Los datos de nitratos encontrados se muestran a continuación.

Cuadro 4. Datos de nitratos para seis sitios en la parte alta de la cuenca del río Nazas

Nitrato (mg/l)						
medición	sitio 1	sitio 2	sitio 3	sitio 4	sitio 5	sitio 6
M 1	0.4	0.4	0.7	0.6	0.12	0.2
M 2	0.4	0.6	0.2	0.8	0.7	0.3
M3	0.2	0.4	0.3	0.7	0.4	0.6
MEDIA	0.33	0.47	0.40	0.70	0.41	0.37

3.1.4. Fosfatos

Enseguida se muestran los datos obtenidos en el monitoreo de fosfatos en la parte alta de la cuenca del río Nazas.

Cuadro 5. Datos de fosfatos para seis sitios en la parte alta de la cuenca del río Nazas

Fosforo (mg/l)						
medición	sitio 1	sitio 2	sitio 3	sitio 4	sitio 5	sitio 6
M1	0.55	1.55	0.42	2.55	2.19	0.3
M 2	0.34	1.23	0.92	1.91	2.37	1.16
M3	0.44	0.89	1.71	1.9	3.66	2.39
MEDIA	0.45	1.22	1.02	2.12	2.74	1.28

3.1.5. Turbidez

A continuación, se presentan los datos obtenidos para la turbidez.

Cuadro 6. Datos de turbidez para seis sitios en la parte alta de la cuenca del río Nazas

Turbidez (NTU)

medición	sitio 1	sitio 2	sitio 3	sitio 4	sitio 5	sitio 6
M 1	15.2	16	14.4	12.1	15.9	10.8
M 2	12.6	13.1	14.7	10.6	9.32	9.4
M 3	14	14.55	15.7	8.4	12.1	9.87
MEDIA	13.93	14.55	14.93	10.37	12.44	10.02

3.1.6. pH

A continuación, se presentan los datos obtenidos para la variable pH.

Cuadro 7. Datos de pH para seis sitios en la parte alta de la cuenca del río Nazas

pH						
medición	sitio 1	sitio 2	sitio 3	sitio 4	sitio 5	sitio 6
M 1	6.7	6.9	6.9	7.4	6.3	6.7
M 2	6.7	6.8	6.9	7.1	6	6.5
M3	6.7	7.32	6.7	7	7.27	7.76
MEDIA	6.70	7.01	6.83	7.17	6.52	6.99

3.2. Presas filtrantes de piedra acomodada.

Para el caso de las presas filtrantes se evaluó la cantidad de sedimentos acumulados por las mismas y se evaluó la condición física. Se encontraron grandes cantidades de presas filtrantes completamente destruidas.

3.3. Erosión laminar

A continuación, se presenta la información sobre erosión laminar obtenida a través de las parcelas de clavos y rondanas

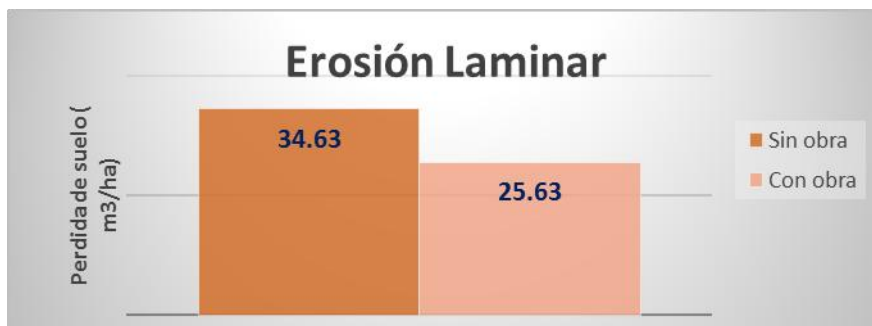


Figura 2. Comparación de erosión laminar medida a través de parcelas de clavos y rondanas entre suelos con y sin obras de conservación de suelos

Erosión en cárcavas

A continuación, se muestran los datos de la erosión en cárcavas en la parte alta de la cuenca del río Nazas.

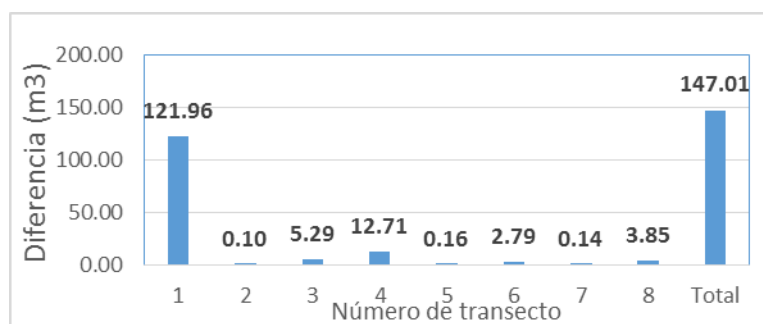


Figura 3. Pérdidas de suelo en cárcavas en la parte alta de la cuenca del río Nazas

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A continuación, se presentan algunos análisis sobre los resultados obtenidos:

La bibliografía reporta que a mayor temperatura del agua se reduce la cantidad de oxígeno disuelto lo que potencialmente puede afectar a la fauna acuática. En términos generales esto se refleja cuando comparamos las gráficas de temperatura del agua y oxígeno disuelto. La Norma Oficial Mexicana indica que para no afectar a la fauna acuática en las corrientes de las cuencas hidrográficas en valor mínimo de oxígeno disuelto no debe ser menor a 6 mg/l, para este caso, en todos los sitios no se cumplió con la norma. Al comparar los datos de oxígeno disuelto y temperatura, se encontró que hay una tendencia a la reducción del oxígeno disuelto conforme se incrementa la temperatura del agua.

Los datos obtenidos para el caso de los nitritos indican que, en ninguno de los sitios se rebasa lo establecido en la Norma Oficial Mexicana (NOM), que dice que no debe rebasar el valor de 1 mg/l. Los valores obtenidos de la variable nitratos indican que están en lo que la NOM establece, no mayor de 10 mg/l. Para el caso de los fosfatos, en todos los sitios se superó lo que establece la NOM, que es



no mayor a 0.1 mg/l, esto se debe a la aplicación de fertilizantes fosforados en las tierras sometidas a cultivos agrícolas, para producir maíz y avena principalmente. Para el caso de la turbidez, la información obtenida indica que en todos los sitios se superó lo que establece la NOM que indica un valor no mayor de 5 NTU, esto se debe a los altos índices de erosión que se presenta en la microcuenca tanto laminar como en cárcavas, por esto cuando se presenta la precipitación el agua se muestra muy turbia, por los sedimentos que llevan en suspensión. Para el caso del pH la información obtenida indica que en ninguno de los sitios su valor superó lo que establece la NOM que es entre 6.5 y 8.5. Los datos obtenidos para la variable conductividad eléctrica, se tiene que en todos los sitios se cumplió lo que establece la norma no mayor a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que significa que los niveles de salinidad del agua son muy bajos. En general, las variables de calidad del agua cumplen con las Normas Oficiales Mexicanas, a excepción de los fosfatos, la turbidez y el oxígeno disuelto. De acuerdo con la información obtenida para el caso de la erosión laminar, aunque la pérdida es mayor en los suelos sin obra (34.63 m^3/ha) y con obra (25.63 m^3/ha), la diferencia no es significativa. La causa es que los suelos con vegetación de bosque tienen un piso forestal con cobertura arriba del 80%. En el caso de la pérdida de suelo en pendiente mayor y menor de 15 %, la diferencia no es importante, debido, también, a la cobertura del piso forestal mayor al 80 % en suelos con vegetación forestal. Para la comparación de pérdida de suelo entre suelos con uso forestal y pastizal, es mayor en suelos de uso de pastizal que bosque, debido a que los suelos con bosque tienen una mayor pendiente que los suelos con vegetación de pastizal. Las presas filtrantes de piedra acomodada en las cuales se midió el sedimento retenido, presentan la mayoría una condición muy buena, de acuerdo con lo indicado en el cuadro 2, esto es, tienen menos de 10% de destrucción. Esto justifica la gran cantidad de sedimento retenido por estas presas (26.5 ton), con un promedio de 1.33 ton por presa filtrante y 443.9 m^3 en volumen total (cuadro 18). Sin embargo, en la microcuenca hay una gran cantidad de presas filtrantes destruidas por el agua debido a que no se siguieron las normas técnicas para su construcción, por ejemplo, iniciar en la parte de arriba de la cárcava con un cabeceo de la misma y de ahí hacia abajo construir las presas de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas. De acuerdo a la información obtenida sobre la erosión en cárcavas, el volumen total de suelo erosionado en las cárcavas, en ocho transectos, fue de 147 m^3 . En la microcuenca la erosión en cárcavas es muy grande, existen cárcavas de hasta 10 m de profundidad y ancho de hasta 15 m.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo se pueden plantear las siguientes conclusiones:

Se encontraron diferencias al momento de evaluar las parcelas de clavos y rondanas con obras y sin obras de conservación de suelos, debido a que las parcelas que cuentan con obras tuvieron menor pérdida de suelo, aunque la diferencia no fue significativa.

En los sitios en los cuales se evaluó la calidad del agua, se observó que donde existe presencia de agroquímicos, aumentan las cantidades de fosfatos.

Donde hubo aprovechamiento forestal aumentaron las unidades nefelométricas de turbidez. Todos los valores rebasaron los 5 NTU establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-55171-1994, lo que significa que en la temporada de lluvias existe un gran aporte de sedimentos a la corriente.

A mayor temperatura disminuye el oxígeno disuelto por lo tanto afecta a la fauna acuática y en los sitios evaluados ninguno cumplió los estándares establecidos de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-ECOL-1996 que pone como límite inferior 6 mg/l.



Sin haber hecho análisis microbiológicos, se puede afirmar que la norma para coliformes totales y coliformes fecales no se cumple, por lo tanto, el agua, sin ningún tratamiento previo, no es apta para consumo humano, esto se debe a la presencia del ganado en los arroyos.

En prácticamente todos los tramos de cárcavas evaluados, se presentó crecimiento de la cárcava, debido a que las presas filtrantes de piedra acomodada ya están destruidas.

La mayoría de las cárcavas no tienen suavización y estabilización de taludes, razón por la que crecen hacia los lados, generando turbidez en las corrientes de la cuenca, sobre todo en la época de lluvias y ganando espacio a las áreas de pastizal.

LITERATURA CITADA

- Brooks, K. P. (1991). *Brooks, K.N., P. F. Folliott, H. Hidrology and the management of watersheds*. (2da Edition ed). Iowa State University, Ames, IA.
- Canfield R. 1941. “*Application of the Line Interception Method in Sampling Range Vegetation*”. *forestry*. 39: pp. 388-349.
- CONAFOR. (2007). *Protección, Restauración y Conservación de suelos Forestales*. (C. N. Forestal, Ed.) Jalisco, México, México.
- Escolero, G.A. (1993). *Panorámica del agua subterránea en México*. In *el Agua. Recurso vital*. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Flores, L. C. (2007). *Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales*. En *Manual de obras y practicas* (pág. 298). México.
- Gapar, A. (1992). *Hidrología Forestal y protección de suelos*. ICONA.
- García. (1987). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen*. En *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen*. Universidad Autónoma de México. (pág. 246).
- García, H. (1983). *Análisis químico y bacteriológico en el control de agua*. Bucaramanga
- Hudson, N. (1982). *Conservación del Suelo*. En N. Hudson, *Conservación del Suelo* (pág. 335). España: REVERTE, S.A.
- INIFAP. 2004. Descroix, I., J.F. Nouvelot, J. Estrada, y A. Gutiérrez. *Especialización de las precipitaciones sobre las dos vertientes de la Sierra Madre Occidental*. In: *La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada*. (p. 134-144). INIFAP-CENID-RASPA-IRD. 300p.



IV CONGRESO
NACIONAL

**MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Fondo Metropolitano Laguna, a la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Durango, a la Comisión del Agua del Estado de Durango y al Instituto Tecnológico de El Salto, por su apoyo para la instrumentación y operación de este trabajo.



Extenso ID: 358. Víctor Hugo García Pacheco^a, Eva Nayeli Guzmán Rodríguez^b, Sergio Alberto Beauregard Mora^c. RED DE ABASTO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC

[Regresar al índice](#)

^a Director de Operaciones. Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa.

^b Historiadora. Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa

^c Jefe del Departamento de Gestión de Cuencas. Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa. bems91@hotmail.com

Resumen

La Dirección Operativa de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa, Ver., presentará la red de abasto de agua de la subcuenca del río Pixquiac, de la cual la ciudad obtiene el 38% del agua que consume todos los días, informando sobre las acciones de monitoreo (2005-2016) que comprenden desde el aforo del caudal obtenido, hasta la calidad del agua en los diversos puntos de captación en la propia red; todo ello a la luz del enfoque de manejo integrado de cuenca que recientemente se ha incorporado a la óptica general del organismo.

Palabras clave

Red, Abasto, Pixquiac, Xalapa

Introducción

Descripción de la Red de Abasto de la Subcuenca del Pixquiac

En la actualidad son tres las principales fuentes de abastecimiento que surten a la ciudadanía xalapeña de agua potable; Huitzilapan con el 58%, Subcuenca del río Pixquiac con el 38% y Manantiales del Castillo con el 4%.

La regulación de estos recursos inicia con la concesión que se otorgó a la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento (CMAS) en el año de 1996 para las fuentes de abastecimiento denominadas: Manantiales del cofre de perote, Medio Pixquiac, SocoyolapaN, Cinco Palos y Manantial El castillo con una vigencia de treinta cinco años, y la restante correspondiente al Río Huitzilapan fue otorgada en el año de 1998 y cuenta con una prórroga que expira en el año 2018.

Los volúmenes anuales, provenientes de las fuentes de abastecimiento, oscilan en un total aproximado de 55, 503, 360 m³. Según el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), la concesión otorgada de los niveles de extracción, pueden variar debido a diversas circunstancias, principalmente de tipo climáticas, como la época de estiaje o bien al régimen de operación, durante el cual se aplican diversas medidas por parte de CMAS para no perjudicar a la población.²

² Véase Registro Público de Derechos de Agua.



A continuación se detallan las principales fuentes de abastecimiento provenientes del Pixquiac, sus características y generalidades:

Manantiales del Cofre de Perote o Alto Pixquiac. También son un afluente del río La Antigua. Estos manantiales provienen de las localidades de Tembladeras y Rafael Ramírez, las cuales se ubican en el municipio de Las Vigas de Ramírez. De esta fuente se extraen 7, 884,000 m³ anuales.

Río Pixquiac o Medio Pixquiac. El agua que se extrae de esta fuente es un afluente del río La Antigua que proviene de la localidad de Rancho Viejo, misma que se encuentra ubicada en el municipio de Tlalnahuayocan. De ella se extraen aproximadamente 7, 884, 000 m³ al año.

Río Socoyolapan. Perteneciente a un afluente del río La Antigua y se encuentra ubicado en el municipio de Tlalnahuayocan, en la localidad de Los Capulines. Aporta una cantidad de 3, 153, 600 m³ anuales.

Río Cinco Palos. Esta fuente de abastecimiento es un afluente del río La Antigua, el cual proviene de la localidad de Cinco Palos, que se encuentra ubicada en el municipio de Coatepec. De sus corrientes se extraen 3, 153, 600 m³ anuales, aproximadamente.

Sistema Hidráulico: Distribución de Agua a la Población

La Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa cuenta con seis fuentes de abastecimiento para suministrar a los habitantes que para el año 2010, según INEGI, oscilaban en 457,927. Dichas fuentes aportan un total anual aproximado de 55,503, 360 m³. El organismo operador distribuye agua potable a la ciudad de Xalapa y zonas circunvecinas, como son las colonias adjuntas a otros municipios, tales como: Banderilla, Coatepec, San Andrés Tlalnahuayocan y Emiliano Zapata.

La repartición del recurso se hace a través de una red que para el año 2000, según el catastro de redes de agua potable, oscilaba aproximadamente en 685 km³ de longitud, misma que ha ido incrementándose debido al crecimiento poblacional de la ciudad la cual ha generado un aumento en la red hidráulica, que en la actualidad abarca alrededor de 800 km de redes primarias y secundarias; además de 120 km de acueductos.

Toda el agua que proviene de las fuentes de abastecimiento llega a la ciudad y es depositada en tanques de almacenamiento, mismos que se encuentran ubicados en puntos estratégicos. A la fecha, se encuentran operando 37 tanques en la zona conurbada. Todos ellos cuentan con una capacidad diferente y están interconectados para suministrar el abasto de agua a los habitantes. La manera de distribuirla a la población es a partir de interconexiones y ampliaciones de la red general, que proviene de diversas áreas de la ciudad, en la cual existen aproximadamente 70 válvulas que se utilizan para regular la presión del agua de los diversos tanques, con el objetivo de no generar fugas del recurso. A continuación se detallan los tanques de regulación con los que cuenta CMAS para depositar y distribuir el agua potable:

CARACTERÍSTICAS DE TANQUES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE XALAPA.

TANQUE	CAPACIDAD EN M ³	UBICACIÓN	FUNCIONAMIENTO	SUMINISTRA
--------	-----------------------------	-----------	----------------	------------

³ CMAS. Véase Catastro de redes de agua potable. 2000



ACUAFÉRICO	3000	FRACC. LAS MARGARITAS.	RECIBE AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA.	FRACC. LAS MARGARITAS, BUGAMBILIAS, LAS TRANCAS, PASO LADRILLO, LA RESERVA TERRITORIAL.
PLANTA POTABILIZADORA	2150	COL. LOMAS DEL SEMINARIO.	RECIBE AGUA DE HUITZILAPAN Y DEL MEDIO PIXQUIAC.	SUMINISTRA A LOS DIFERENTES TANQUES DE DISTRIBUCIÓN.
FERROCARRILERO	2000	COL. FERROCARRILERO A.	RECIBE AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA.	DISTRIBUYE A LA ZONA NORTE Y NORESTE DE LA CIUDAD.
NIÑO PERDIDO I	2500	COL. BENITO JUAREZ.	RECIBE AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA.	DISTRIBUYE AL TANQUE LOMAS VERDES Y XALAPA 2000.
NIÑO PERDIDO II	2500	COL. BENITO JUAREZ.	RECIBE AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA.	DISTRIBUYE AL TANQUE LOMAS VERDES Y XALAPA 2000.
MACUILTÉPEC O ZONA ALTA I	5000	COL. PROGRESO.	EL SUMINISTRO DE AGUA ES EL EXCEDENTE DEL TANQUE MACUILTÉPEC.	
TOLUCA	2000	COL. PROGRESO.	SE ABASTECE DE LA PLANTA POTABILIZADORA.	SUMINISTRA A LA PARTE NORTE DE LA CIUDAD.
XALAPA 2000	2000	XALAPA 2000.	RECIBE AGUA DEL TANQUE NIÑO PERDIDO.	ABASTECE A LA UNIDAD HABITACIONAL



				L DE XALAPA 2000.
XALAPA 2000- 2	200	XALAPA 2000.	ES UN TANQUE ELEVADO, RECIBE AGUA DEL TANQUE NIÑO PERDIDO.	ABASTECE A LA UNIDAD HABITACIONAL DE XALAPA 2000.

TANQUE	CAPACIDAD EN M ³	UBICACIÓN	FUNCIONAMIENTO	SUMINISTRA
ZONA ALTA II	1800	COL. PROGRESO.	SE ABASTECE DE LA CONDUCCIÓN DEL COFRE DE PEROTE.	ABASTECE A LA ZONA ALTA DE LA CIUDAD. EN OCASIONES AL TANQUE DE ZONA MEDIA Y GUERRERO.
ZONA MEDIA	1200	COL. PROGRESO.	RECIBE AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA.	DISTRIBUYE A LA ZONA MEDIA DE LA CIUDAD.
CERRO DEL ESTROPAJO	1500	CERRO DEL ESTROPAJO.	RECIBE AGUA DEL BOMBEO JARAMILLO.	
LAS FUENTES	1500	FRACC. LAS FUENTES.	RECIBE AGUA DEL TANQUE LAS MARGARITAS.	ABASTECE AL FRACCIONAMIENTO LAS FUENTES.
LA PRADERA	1800	FRACC. LA PRADERA.	RECIBE AGUA DEL ACUAFÉRICO.	DISTRIBUYE AL FRACC. DEL MISMO NOMBRE.
LOMAS VERDES	1400	NUEVO XALAPA.	SE ABASTECE DEL TANQUE NIÑO PERDIDO	DISTRIBUYE A LOMAS VERDES, SANTA ROSA, MARGARITAS.
FRANCISCO VILLA	1500	COL. FRANCISCO VILLA.	RECIBE AGUA DEL TANQUE ENCANTO	SUMINISTRA AL TANQUE BEETHOVEN.
GUERRERO	1000	COL. CENTRO.	RECIBE AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA, DEL TANQUE LOMA SOL;	ABASTECE PARTE DE LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD.



			ADEMÁS CUENTA CON UN <i>BY-PASS</i> PARA RECIBIR DEL TANQUE MACUILTÉPEC.	
ENCANTO	1000	EL MIRADOR.	RECIBE AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA.	ABASTECE AL TANQUE FRANCISCO VILLA.

 IV CONGRESO NACIONAL DE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016 <small>MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO</small>				
TANQUE	CAPACIDAD NACIONAL	UBIGACIÓN	FUNCIONAMIENTO	SUMINISTRA
FOVISSSTE	750	UNIDAD HABITACIONAL FOVISSSTE.	RECIBE AGUA DE LA CAPTACIÓN DE AGUA SANTA Y DEL MEDIO PIXQUIAC.	ABASTECE A LA UNIDAD HABITACIONAL FOVISSSTE.
JUAN SEBASTIAN BACH	240	INDECO ÁNIMAS.	RECIBE AGUA DEL TANQUE BEETHOVEN.	ABASTECE A LA PARTE BAJA DE LAS ÁNIMAS, LAS TRANCAS, BUGAMBILIAS, JACARANDAS Y LA CARRETERA DE TRANCAS-ESTANZUELA.
BETHOVEN	240	INDECO ÁNIMAS.	RECIBE AGUA DEL TANQUE FCO. VILLA Y DEL REBOMBEO ÁNIMAS (EN OCASIONES DEL TANQUE GUERRERO).	DISTRIBUYE AGUA AL FRACCIONAMIENTO DE INDECO ÁNIMAS Y AL TANQUE JUAN SEBASTIAN BACH.
ARAUCARIAS	200	FRACC. JARDINES DE LAS ÁNIMAS.	RECIBE AGUA DEL REBOMBEO ÁNIMAS.	DISTRIBUYE AL FRACC. ÁNIMAS.
LOMA SOL I	200	COL. CERRO COLORADO.	RECIBE AGUA DEL TANQUE LOMA SOL II.	DISTRIBUYE A PARTE DEL FRACC. COAPEXPAN.
LOMA SOL II	200	COL. CERRO COLORADO.	RECIBE AGUA DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE SOCOYOLAPAN.	ABASTECE A LA COL. JOSEFA ORTIZ, BENITO JUÁREZ, ARROYO BLANCO Y ZONAS ALEDAÑAS.
UNIDAD DEL VALLE	200	UNIDAD DEL VALLE.	RECIBE AGUA DEL MANATIAL TECHACAPAN.	ABASTECE A LA UNIDAD DEL VALLE.
CERROCOLORADO	200	CERRO COLORADO.	RECIBE AGUA DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN SOCOYOLAPAN.	ABASTECE A LA PARTE SURESTE DE LA CIUDAD.
XALAPA 2000- 2	200	XALAPA 2000.	RECIBE AGUA DEL TANQUE NIÑO	ABASTECE A LA UNIDAD



			PERDIDO.	HABITACIONAL DE XALAPA 2000.
TANQUE	CAPACIDAD EN M ³	UBICACIÓN	FUNCIONAMIENTO	SUMINISTRA
XALLITIC	150	UNIDAD HABITACIONAL XALLITIC.	SE ABSTECE DEL TANQUE JUAN SEBASTIÁN BACH.	ABASTECE A LA CENTRAL DE ABASTO Y ZONAS ALEDAÑAS.
MARGARITAS	150	FRACC. MARGARITAS.	RECIBE AGUA DEL TANQUE LOMAS VERDES.	DISTRIBUYE AGUA AL FRACC. SANTA ROSA Y LAS MARGARITAS.
PASTORESA	126	FRACC. PASTORESA.	RECIBE AGUA DEL TANQUE LOMAS VERDES Y PASTORESA.	ABASTECE A LA UNIDAD PASTORESA.
LOS ARENALES	80	LOS ARENALES	RECIBE AGUA DEL TANQUE NIÑO PERDIDO.	
SANTA ROSA	70	FRACC. SANTA ROSA.	RECIBE AGUA DEL TANQUE LAS MARGARITAS.	DISTRIBUYE AGUA AL FRACC. SANTA ROSA.
SUMIDERO	50	INFONAVIT SUMIDERO.	RECIBE AGUA DEL TANQUE FRANCISCO VILLA.	ABASTECE A LA COLONIA INFONAVIT SUMIDERO.
EL PORVENIR	30	FRAMBOYANES.	RECIBE AGUA DEL CERRO DEL ESTROPAJO Y DEL CÁRCAMO PORVENIR.	
EJIDAL RANCHITO SUMIDERO	25	EJIDO SUMIDERO.	RECIBE AGUA DEL TANQUE ENCANTO.	
PASO LADRILLO	34	PASO LADRILLO.	RECIBE AGUA DEL	DISTRIBUYE A



			ACUAFÉRICO.	PASO LADRILLO
CPR PASO LADRILLO	4	FRACC. BUGAMBILIAS.	RECIBE AGUA DEL TANQUE PASO LADRILLO.	ABASTECE A LAS COLONIAS SANTA CLARA, LA HACIENDA, CAFETALES Y ARBOLEDAS.

Agradecimientos

Literatura citada

- Organización Mundial de la Salud y Unicef. *La meta de los ODM relativa al AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO: El reto del decenio para zonas urbanas y rurales*. Suiza, 2007, 48 p.
- IMTA. *Estudio para la Implementación de sectores hidráulicos en la ciudad de Xalapa, Veracruz*. CMAS. Xalapa, 2012. 93p.
- CONAGUA. Registro Público de derechos de Agua.
- Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa. Información Diversa
- Figuras. Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa. 2005



Extenso ID: 74. Eduardo Aranda-Delgado^a, Eduardo Castilleja Delgado^a, Fernando Sotres Castillo^a, Miriam G. Ramos-Escobedo^b, Sergio Ruiz-Cordova^c, Adriana Flores-Díaz^d y Rolf Kral Sosa Acosta^a. 10 AÑOS DE MONITOREO GWW EN RÍO PIXQUIAC EN ZONCUANTLA, COATEPEC, VER.

[Regresar al índice](#)

^aAsociación de Vecinos del Pixquiac Zoncuantla, A.C., eduardoarandad@gmail.com; ^bGlobal Water Watch- México, A.C.; ^cGlobal Water Watch Program, Auburn University, USA.; ^dCIGA-UNAM-Morelia, Mich.

RESUMEN

Voluntariamente, desde diciembre de 2005 a la fecha, miembros de la comunidad de Zoncuantla hemos monitoreado mensualmente el río Pixquiac, cuenca de La Antigua, antes, durante y después de su paso por nuestra comunidad. Se determinan características físico-químicas, contaminación fecal, caudal y el índice biótico basado en macroinvertebrados bénticos siguiendo la metodología del Programa Global Water Watch (GWW), así como sólidos sedimentables. Los datos colectados están en la página de internet de GWW México (<http://mexico.globalwaterwatch.org/>), donde se almacena y se comparten al público. Los resultados muestran que el río tiene una dinámica físico-química estable, la contaminación fecal es esporádica desde el primer sitio aguas arriba y se incrementa a su paso por la comunidad. Esta información provee de conocimiento técnico sobre el comportamiento de la calidad y cantidad del agua del río, con lo que se ha establecido una línea base, que sirve para reconocer afectaciones futuras y priorizar puntos críticos actuales que deben atenderse. Paralelamente, hemos impulsado estrategias de divulgación, conservación, educación ambiental, restauración y aplicación de políticas públicas que buscan consolidar la preservación del río y su ribera. Esto nos ha empoderado como comunidad para mejorar las condiciones del río y defenderlo de amenazas de contaminación y afectaciones a su caudal, lecho y ribera. En 2012 en acuerdo con la CONAGUA, la comunidad financió el trabajo de levantamiento topo-batimétrico del río en su tramo de Zoncuantla y obtuvo oficialmente la delimitación de la Zona Federal y cauce en dicho tramo (4.2 km), Sin embargo, dicha Comisión no ha querido establecer la demarcación correspondiente, argumentando la posibilidad de oposición de algunos de los propietarios colindantes con la ribera. Hemos alcanzado importantes logros, como garantizar el abasto de agua potable desde un manantial cercano en el municipio vecino de San Andrés Tlalnelhuayocan, haber adquirido como asociación de vecinos un predio contiguo al manantial para su preservación, e impulsar y defender el reciente decreto estatal de creación del Área Natural Protegida del *Archipiélago de Bosques y Selvas de la Región Capital del Estado de Veracruz*, que colinda con el río Pixquiac en Zoncuantla.

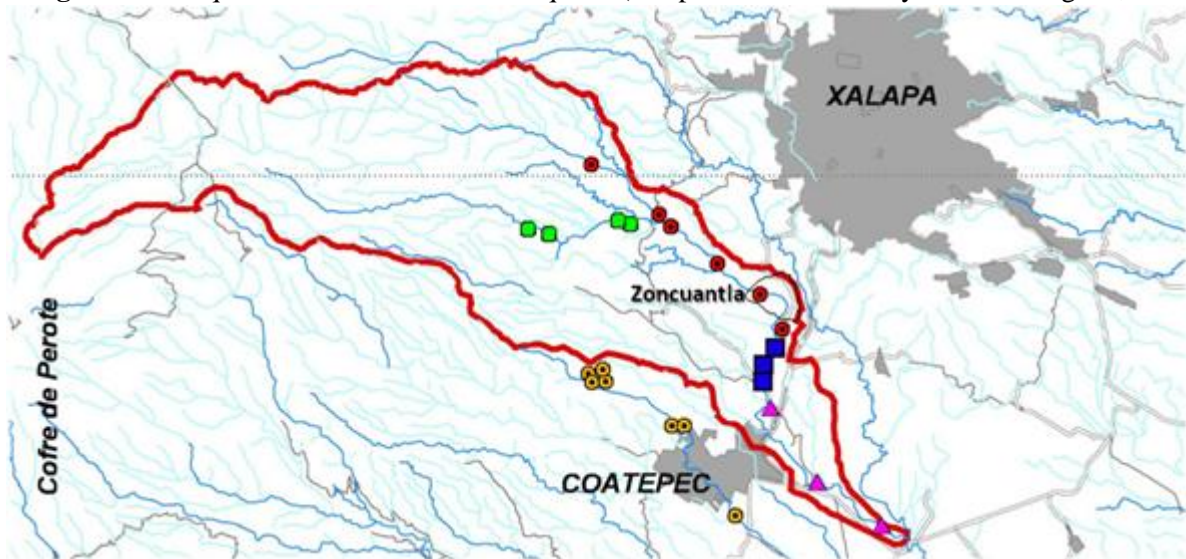
Palabras clave: Monitoreo comunitario, calidad del agua, impactos en ríos suburbanos, gestión comunitaria de recursos hídricos y riberas, río Pixquiac, Cuenca del río La Antigua

1 INTRODUCCIÓN

La Sub Cuenca del Pixquiac

El Pixquiac (del Náhuatl, que significa *Cosecha de Agua*) se considera una sub cuenca, 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 cuando el río Pixquiac confluye con el río Sordo, esta subcuenca tiene 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. La población total en la subcuenca de 7,827 personas de las cuales, 3,144 rurales y 4,683 semi-urbanos y urbanos. Así mismo, en 2012 se calculaba que aún se conserva una cubierta forestal cercana al 70% del total de la superficie y solo 30% destinado a actividades agropecuarias o vivienda (**Figura 1**). El clima es templado, con lluvias todo el año, con vegetación predominante de Bosque de Niebla (Mesófilo de Montaña); en las riberas sobresalen las hayas en el bosque de galería que alberga a una gran cantidad de especies de aves, pequeños mamíferos, reptiles, insectos, hongos, etc., conformando una biodiversidad sobresaliente (Paré y Gerez, 2012).

Figura 1.- Croquis de la Subcuenca del Pixquiac. (Adaptado de Vidriales y Aranda-Delgado, 2008)



Las actividades económicas y productivas de la zona, van desde la agricultura, siembra de maíz, café, plátano, papa, naranja, y flores de ornato, hasta la ganadería de cerdos, aves de corral, cabras, etc. Para la producción de carne, leche y sus derivados. El ecoturismo es una actividad que ha crecido últimamente, favorecida por los deseos y la necesidad de conservación tanto de campesinos como de la ciudadanía, preocupada por la conservación de los recursos naturales. También hay actividades de cría de trucha arcoíris y explotación de madera, para leña o carpintería. En los últimos años se han permitido rentas de predios en la zona media a agricultores foráneos, que los utilizan para el cultivo intensivo de papa y maíz, aplicando excesivas cantidades de agro tóxicos, que por el relieve de algunos terrenos y cercanía a cuerpos de agua y casas, puede representar un fuerte riesgo de contaminación al agua, animales y a la población en general; se hacen esfuerzos para encontrar alternativas a éstas prácticas mediante la divulgación de los riesgos y daños que esto implica.

La Comunidad de Zoncuantla

Es una congregación perteneciente a Coatepec que se encuentra ubicada entre las ciudades de Xalapa y Coatepec, con una población aproximada de 1,840 personas y 576 viviendas habitadas, dispersas en

un área calculada en aproximadamente 713.25 Hectáreas (Aranda, Sotres y Castilleja, 2013) (**Figura 2**). La comunidad se encuentra distribuida entre los km 4 y 7 del recorrido de la Carretera Antigua Xalapa-Coatepec, a través de acentuadas curvas en laderas y valles, para ofrecer a uno y otro lado de la carretera, accesos a las colonias de Briones, Plan de la Cruz y al continuo formado por la secuencia de 4 colonias en las riberas del río Pixquiac: La Pitaya, Seis de Enero, M. Escobedo y El Atorón, colindando con la congregación de Consolapa.

La **Tabla 1** nos ofrece información recabada de INEGI (Censos 2000, 2005 y 2010) 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. A partir de la llegada de una red propia de agua potable a Zoncuantla en 1993, el incremento poblacional se intensificó, así como la cantidad de viviendas habitadas.

Con la construcción en los años 80's de la Carretera nueva Xalapa-Coatepec, la carretera antigua se volvió menos transitada, con agradables vistas de Bosque y laderas de cafetales con sombra, que le han conferido al lugar una personalidad rural-campestre, con algunas áreas residenciales, pero también contrastada con viviendas de composición socioeconómica limitada, agrupadas y de construcción más básica y hasta precaria. A lo largo de la carretera existen actualmente algunos colegios, centros deportivos, pero afortunadamente todavía no se permiten locales comerciales que interfieran el tráfico, la seguridad vial y el paisaje.

Figura 2.- Delimitación aproximada de la Congregación de Zoncuantla, Coatepec, Ver.



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>M. 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
<i>Briones</i>					256	83
TOTAL	1,089	333	1,477	407	1,840	576

La composición social de 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 con residencias de habitantes de origen urbano, nacional o extranjero, donde predomina un espíritu ambientalista, de gente interesada en la conservación y cuidado de su patrimonio natural.

A pesar de lo anterior, existen propietarios de casas cercanas al cauce, que por irresponsabilidad, ignorancia o limitaciones económicas, vierten sin tratamiento sus aguas grises hacia el cauce del río, provocando una contaminación incipiente que se hace más notoria conforme el río recorre los 4.2 km de su trayecto en Zoncuantla.

Antes del 2005 existían construcciones y a la fecha se han seguido haciendo nuevas, que por desconocimiento del riesgo de crecientes, por indiferencia o por falta de una aplicación correcta de las leyes por parte de las autoridades, se han establecido cerca del cauce, edificando muros de contención, bardas, enrejados o incluso las casas mismas, dentro de los límites de la Zona Federal. En estos casos, cuando fueron reportadas, las autoridades municipales o la CONAGUA reaccionaron tibios, indiferentes o en su opinión, imposibilitados de ejercer su autoridad, por “carecer de los instrumentos legales para defenderlas...”.

En estas condiciones antes de 2005, existía incertidumbre y desconocimiento general de las condiciones y la calidad del agua del Río Pixquiac, que no permitía conocer con claridad el posible grado de contaminación, las variables químicas o biológicas que pudieran estar siendo afectadas y/o nuestras posibilidades reales de poder revertir ese proceso de deterioro, con una ayuda prácticamente inexistente de parte de las autoridades.

A partir de junio de 2004 fue creada formalmente la Asociación de Vecinos del Pixquiac-Zoncuantla, A.C., con la participación de un pequeño grupo de vecinos, marcada por el objetivo de mejorar 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.



El Monitoreo Comunitario de la Calidad del Agua

En el último trimestre de 2005, Iowa State University y la Universidad de Amsterdam, junto con el INECOL de Xalapa, invitaron al Programa Global Water Watch (GWW) de Auburn University para desarrollar en México el monitoreo comunitario de calidad de agua; dicho proyecto nos permitió capacitarnos como monitores comunitarios certificados y más adelante convertirnos algunos en entrenadores (Asbjornsen and Manson, 2005; Deutsch, Ruiz-Córdova and Duncan, 2010).

Fuimos certificados en cuatro módulos: monitoreo físico-químico, bacteriológico, biomonitoreo de macro-invertebrados, flujo y caudal (Flores Díaz *et al*, 2013). A partir de Diciembre de 2005, miembros de la comunidad de Zoncuantla, conformamos el grupo de monitoreo comunitario *Amigos del río Pixquiac*, sin interrupción hasta la fecha, por lo cual es el primero en México y también el grupo con más eventos de monitoreo y datos registrados en el país.

El objetivo del grupo es lograr que los integrantes de la comunidad aprendamos a conocer y entender el comportamiento y salud del río Pixquiac a partir de la toma y registro de datos mensuales en diferentes puntos de su cauce. Con esta información conocer y entender las tendencias en el comportamiento y calidad del agua del río en el corto, mediano y largo plazo, procurando mitigar los cambios provocados por la influencia de las actividades humanas de nuestra comunidad.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El monitoreo de *Amigos del río Pixquiac* se realiza mensualmente en tres puntos del trayecto del río en la zona de influencia de Zoncuantla (**Figura 2**):

- 1) **Sitio 1.- Las Monjas**, vado a la llegada del río a los límites habitados de Zoncuantla.
- 2) **Sitio 2.- Seis de Enero**, vado en un punto intermedio del río en la comunidad, y
- 3) **Sitio 3.- Mariano Escobedo**, en el tramo final del río Pixquiac en los límites de Zoncuantla.

Registro y presentación de la información recabada del Monitoreo

El equipo, material y técnicas y manejo de los datos que se utilizan para monitoreo, ha sido certificado por GWW ante la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), para monitoreo físico-químico, utilizando un laboratorio portátil (*Lamotte®*) que determina temperatura, pH, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto y turbidez; para monitoreo bacteriológico *Coliscan EasyGel®* que determina *Escherichia coli* y coliformes totales; para flujo se utiliza la técnica del flotador usando un segmento longitudinal de 10 metros; para biomonitoreo se analiza la riqueza de la comunidad de macro-invertebrados benthicos, para sólidos el método de GWW considera el uso de la técnica estándar para determinar sólidos suspendidos totales (**referencia de manuales**), el procesamiento de los filtros lo hacen técnicos en laboratorios estándar, sólo la colecta es realizada por la comunidad; y también se están midiendo sólidos sedimentables de acuerdo con la NMX-AA-004-SCFI-2013. La información recabada se revisa e ingresa a la base de datos de GWW a partir de su portal de internet en la sección México, donde los datos están disponibles al público: <http://www.globalwaterwatch.org/Mexico/mxww.aspx>

3 RESULTADOS

Desde diciembre de 2005 hasta agosto de 2016, los integrantes del grupo de *Amigos del río Pixquiac* han alcanzado los siguientes resultados acumulados:

- 117 eventos de monitoreo, por 3 sitios de muestreo = 348 monitoreos al Pixquiac-Zoncuantla.



- 348 Monitoreos FQ por 7 variables = 2,436 registros físico-químicos
- 348 Monitoreos bacteriológicos por 2 variables = 696 registros bacteriológicos
- 348 Monitoreos de caudal por 3 variables = 1,044 registros de caudal y TSS
- 27 Bio-Monitoreos = 27 registros de índices bióticos
- TOTAL= **4,176 REGISTROS**

Temperatura del aire, agua y oxígeno disuelto

A continuación, se describen algunas tendencias detectadas a simple vista, sin contrastación estadística. Las temperaturas del aire y el agua muestran el comportamiento típico en el que la temperatura del agua tiene una menor variación pero aún así tiene el mismo patrón a lo largo del año, siempre con el valor de temperatura del aire superior y más cambiante que la del agua. Los datos muestran claramente el ascenso que inicia en febrero y finaliza entre marzo y mayo, cuando la temperatura comienza a descender alcanzando las temperaturas más bajas en diciembre y enero. Se observa un ligero incremento de temperatura a lo largo del recorrido del río en Zoncuantla, con una diferencia de 0.5 a 1.0 grado entre cada sitio e intervalos de temperatura de entre 16 y 24 °C en el Aire y 13 y 20 °C en el agua (**Figura 3**).

Por su parte, los valores de oxígeno disuelto también resultan muy ilustrativos, presentan la relación inversa natural con la temperatura del agua. La progresión del sitio 1 al 3 muestra en general valores decrecientes de oxígeno disuelto. En la generalidad de los casos, el oxígeno disuelto se encuentra entre 7.0 y 8.0 ppm.

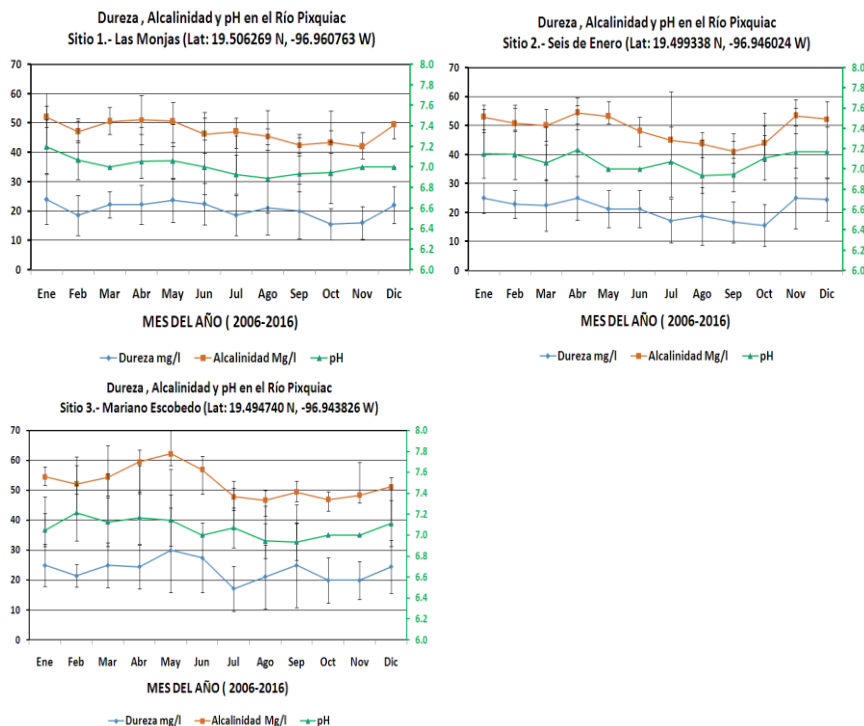
Figura 3.- Temperatura del aire, agua y oxígeno disuelto, en los 3 sitios de monitoreo del río Pixquiac Zoncuantla (Las Monjas, Seis de Enero y M. Escobedo); valores promedios del período 2005-2016.



Dureza, alcalinidad, pH y turbidez

La serie de 3 gráficas en la **Figura 4**, muestra el proceso de dilución debido a la entrada de agua de lluvia durante los meses de junio a octubre en general, la variación estacional es más notable en Mariano Escobedo, donde los valores de alcalinidad son más altos antes de la entrada de las lluvias. Ambos valores son bajos, lo cual hace el agua de río Pixquiac muy suave (dureza 20-30 mg/l) y su sistema de amortiguamiento por carbonatos es bajo (alcalinidad 40 a 60 mg/l), siendo siempre este último un poco más alto que el de dureza, tal vez por contenido de algunas sales presentes, más allá de los carbonatos de Ca y Mg. El pH presenta un patrón temporal similar a la dureza y alcalinidad durante el ciclo anual, lo que sugiere una relación química muy estrecha entre estas variables y además una semejanza muy clara entre los 3 sitios.

Figura 4.- Dureza, alcalinidad y pH, en los 3 sitios de Monitoreo del río Pixquiac en Zoncuantla; valores promedio del período 2005-2016.



No se muestran en gráficos los valores resultantes de turbidez, debido a que en prácticamente la totalidad de casos, los valores resultaron en 2 JTU (*Jackson Turbidity Units*) con solo algunos casos en 5 JTU.

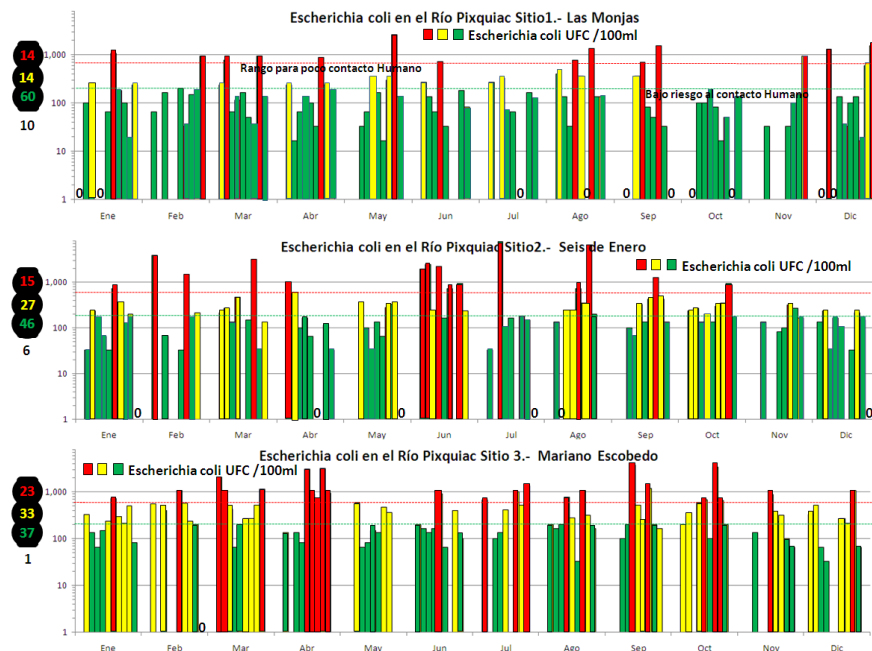
Monitoreo Bacteriológico

El monitoreo bacteriológico muestra la progresión de la contaminación fecal en el trayecto del río por la comunidad. Consideramos que existen dos momentos en el ciclo anual que provocan un alza de valores de contaminación, en la época caliente y seca del año, con menos caudal en el río y la otra al inicio de la época de lluvias intensas, que arrastran todo tipo de contaminantes.

Las gráficas se representan en tres diferentes coloraciones a manera de un semáforo, utilizando como referencia los dos niveles de rango límite reconocidos por EPA en USA y por SEMARNAT en México, de 200 UFC/100 ml (*"Bajo riesgo de contacto humano"*) y 400 UFC/100ml (*"Rango para poco contacto humano"*) (**Figura 5**).

Algunos de los valores altos de *E. coli.*, marcados como semáforo en rojo del sitio 1 fueron resultado de contaminaciones puntuales que al ser detectados pudieron resolverse posteriormente.

Figura 5.- Unidades Formadoras de Colonias de *E. coli*/100ml, en los 3 sitios de Monitoreo GWW del río Pixquiac en Zoncuantla valores agrupados de 2005-2016.



Caudal

Nuestras mediciones de caudal, han sido realizadas en condiciones de caudal estable y nunca en crecientes, por lo cual la información representada en las gráficas, no permite registrar la frecuencia ni la intensidad de estos eventos extremos, los cuales pueden presentarse durante lluvias intensas o huracanes, casi siempre en las tardes noches, pero que retornan a su caudal base después de tal vez no más de 12 horas posteriores al término de las lluvias.

Una lección que hemos aprendido es que las lluvias que hacen influir el caudal del río Pixquiac en Zoncuantla son las lluvias que caen en la parte alta de la cuenca, arriba de los 2,000 msnm en donde las precipitaciones son más intensas y tienen un efecto directo sobre el caudal a nivel de Zoncuantla; río abajo se genera una respuesta muy rápida al caudal, que ha sido causante de la muerte de ganado o incluso de personas que sin percatarse de las lluvias en la zona alta, son sorprendidos en el río por la creciente. La creciente más fuerte que hemos podido registrar en el Pixquiac (Huracán Barry, 20/Jun/2013), resultó en 80 m³/segundo (Aranda, 2013). En este mismo IV CNMCH se presenta otro estudio en donde se correlaciona el caudal del río Pixquiac Zoncuantla, con la precipitación en la zona alta de la cuenca, con registros de los mismos 10 años de datos. (Muñoz-Villers *et al*, 2016)

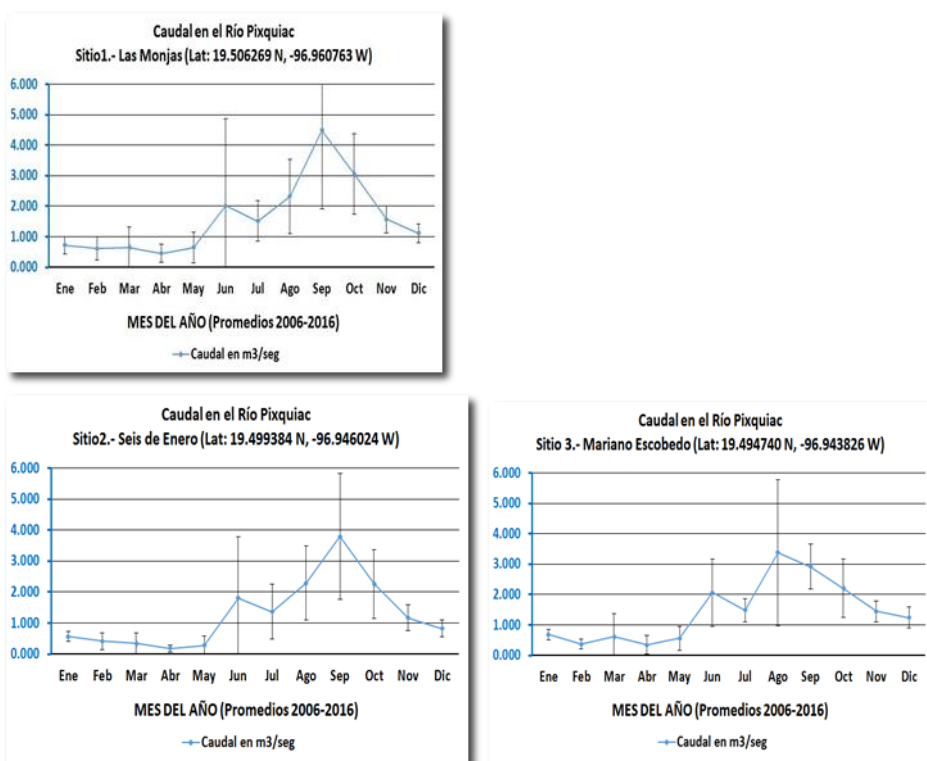
Caso contrario se ha presentado en el Pixquiac, durante los años 2008 y 2011, cuando por efecto del estiaje más marcado, el río se ha llegado a quedar sin una gota de agua (solo a partir de Seis de Enero y Mariano Escobedo), lo cual a decir de los oriundos de esta comunidad, no había sucedida nunca antes.

Es necesario señalar que entre los sitios 1 y 2 existen por una parte, entrada de agua al río Pixquiac, proveniente de un pequeño afluente conocido como el río Tixtla y por el otro, algunos cientos de metros río abajo, el escape o pérdida de agua del río por una grieta en una afloración de roca caliza en el margen derecho del cauce, lo que en cierto modo parece equilibrar el balance; sin embargo no

tenemos registros de valores por cada parte; con esto se deduce que el caudal entre éstos sitios 1 y 2, pudieran diferir por esta entrada y salida de agua en el cauce.

Lo poco que sabemos de esa pérdida de agua, es que se inició a raíz del cambio de trayecto del río durante un huracán en septiembre de 1955 cuando a nivel de La Pitaya, un gran árbol (Haya) cayó al río y obstruyó el cauce, provocando un desplazamiento repentino del río más de 50 metros a su costado derecho, dejando expuesta una afloración de piedra caliza al pie de una loma, que presenta una grieta de aprox. 10-15 cm de anchura, desde el costado del lecho hasta una altura de 2-3 metros de altura. Adicional a esta grieta, existen al menos otros dos puntos río abajo, también con roca caliza en el fondo donde de manera menos marcada, también existen escapes y pérdida de agua del cauce del río.

Figura 6.- Caudal promedio (m³/seg) en los 3 sitios de Monitoreo GWW del río Pixquiac en Zoncuantla



Biomonitoreo

En el cuadro 2, se muestra un concentrado de los 27 monitoreos de macro-invertebrados bentónicos realizados en el Pixquiac Zoncuantla entre 2006 y 2009, donde se muestra el valor resultante del índice biótico utilizado por GWW y su significado en términos de la calidad del agua del río, en cada uno de los 3 sitios de monitoreo dentro de Zoncuantla.

Tabla 2.- Resultados de los Biomonitoreos efectuados en el río Pixquiac, dentro de la zona de influencia de la comunidad de Zoncuantla, Coatepec, Ver.

Indice Biótico * (Macroinvertebrados Bénticos)

Pixquiac Zoncuantla	2006	2007	2008	2009
SITIO 1.- LAS MONJAS		Ene 17 Buena Abr 20 Buena Oct 20 Buena	Ene 26 Excelente Abr 22 Buena Ago 13 Regular Oct 12 Regular	Ene 28 Excelente
SITIO 2.- SEIS DE ENERO		Ene 21 Buena Abr 18 Buena Oct 15 Regular	Ene 21 Buena Abr 17 Buena Ago 18 Buena Oct 14 Regular	Ene 18 Buena
SITIO 3.- M. ESCOBEDO		Ene 19 Buena Abr 20 Buena Oct 19 Buena	Ene 16 Regular Abr 17 Buena Ago 13 Regular Oct 10 Pobre	Ene 21 Buena

*Rangos de calidad del agua: > 22= Excelente; 17-21= Buena; 12-16= Regular; < 12= Pobre.

Como puede verse en la tabla, la información muestra resultados de calidad que van de “Buena” a “Excelente” en la gran mayoría de casos, con algunos resultados de “Regular” y uno solo calificado como “Pobre” en el Sitio 3 de Mariano Escobedo. Se puede reconocer una disminución de la calidad al paso del río por la comunidad, que indica un cierto deterioro general de la calidad del agua del río en ese recorrido de tan solo 4.2 km.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En términos generales podemos concluir que el monitoreo comunitario realizado durante 10 años ininterrumpidos al río Pixquiac en Zoncuantla, ha proporcionado información técnica muy valiosa y sin precedentes para el conocimiento de esta parte de la subcuenca del Pixquiac y la cuenca de La Antigua. Al interior de la comunidad ha favorecido un empoderamiento muy importante de los miembros de Zoncuantla, que gracias al conocimiento y la realización de los monitoreos, consideran el río vigilado y protegido, por actores sociales que actúan como defensores y vigilantes verdaderos del estado de salud y conservación del río Pixquiac. Esta actividad contribuye a que la mayoría de los pobladores se encuentren atentos a su relación con el río y establezcan una cultura de apoyo a las acciones de cuidado del medio ambiente.

Medir el río permite tener datos duros que sirven como referencia y poder determinar las condiciones en las cuales se encuentra el río, de una forma objetiva y dejando de lado las percepciones colectivas.

A pesar de los esfuerzos realizados, existen evidencias de contaminación fecal que pueden y deben ser corregidas, procurando mejorar el destino y tratamiento de las aguas servidas, sobre todo en las casas que se encuentran más cercanas al cauce del río, las cuales se encuentran en un riesgo latente, en un cauce que ha sido valorado por CONAGUA como insuficiente, declarando que: “...el río Pixquiac en el tramo de estudio (Zoncuantla) no tiene la capacidad suficiente para transitar una avenida extraordinaria asociada a un periodo de retorno de 100 años.”



5. AGRADECIMIENTOS

Es necesario resaltar y agradecer a muchas personas, de la comunidad de Zoncuantla y externas a ella, así como instituciones, ya que durante el periodo de 10 años, hemos sido favorecidos con la generosa donación de equipos, materiales, reactivos, así como materiales necesarios para realizar los monitoreos bacteriológicos, por parte de GWW Inc., del proyecto binacional GOMA-USEPA, del Proyecto UNAM-SENDAS y GWW-México, A.C.

En particular, expresamos nuestro agradecimiento al Dr. William Deutsch, fundador de GWW por su apoyo, determinación, generosidad y visión del potencial de su iniciativa y por supuesto, su entrañable persona.

6. LITERATURA CITADA

- Aranda-Delgado E., R. Kral, A. Flores-Díaz, M. Ramos-Escobedo, G. Vidriales y R. Manson, 2008. 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.
- Aranda-Delgado, E., F. Sotres, y E. Castilleja, 2013. Problemática de Manejo de los Recursos Hídricos de la Comunidad de Zoncuantla, Coatepec, Ver. II Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrológicas, UNAM Morelia, Michoacán. Trabajo en extenso. 37 pp.
- Aranda-Delgado, E., 2013. Calculo de Caudal del Río Pixquiac-Zoncuantla durante la creciente provocada por el Huracán Barry (20 de Junio de 2013). *En:* <http://zoncuantla.org/2013/09/calculo-de-caudal-del-rio-pixquiac-zoncuantla-durante-la-creciente-provocada-por-el-huracan-barry-20-de-junio-de-2013/>.
- Asbjornsen, H. and R. Manson, 2005. Conservation and Restoration of Tropical Montane Cloud Forest for Protecting Water Supplies and Biodiversity in Veracruz, México. Iowa State University- INECOL. Workshop Report.
- Deutsch W.G., S. Ruiz-Córdova, B. and L. Duncan, 2010. Community-Based Water Monitoring, A Practical Model for Global Watershed Stewardship. Global Water Watch Program, Auburn University, Alabama, USA. 182p.
- Deutsch W.G., S. Ruiz-Córdova, 2011. Fostering Environmental Stewardship of the Gulf of Mexico: A Trans-Boundary Network of Water Education and Monitoring for Animal Producers, Classrooms and Community Volunteers. Final Report. 2009-2011. Global Water Watch-EPA-Gulf of Mexico Alliance Project. U.S. EPA/Auburn University Cooperative Agreement EPA-MX-95413709-0.
- Flores-Díaz, A., M. Ramos-Escobedo, R. Manson, S. Ruiz-Córdova, G. Vidriales, W. Deutsch y E. Aranda-Delgado, 2013. 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.
- García Coll, I., A. Martínez y G. Vidriales, 2012. Balance Hídrico de la Cuenca del Río Pixquiac, Documento Técnico. SENDAS, FMCN-USAID.



- Muñoz-Villers, L.E., E. Aranda-Delgado, E. Castilleja y F. Holwerda, 2016. La Cuenca del río Pixquiac, centro de Veracruz, ¿Qué nos dicen 10 años de monitoreo de precipitación y caudal? *IV Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrológicas*. ID 153. INECOL. Xalapa, Ver.
- Paré L. y P. Gerez, 2012. Al filo del agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz. UNAM- SENDAS, INE-SEMARNAT. Págs.
- SEDEMA, DECRETO POR EL QUE SE DECLARA ÁREA NATURAL PROTEGIDA EN LA CATEGORÍA DE CORREDOR BIOLÓGICO MULTIFUNCIONAL Y SE DENOMINA "ARCHIPIÉLAGO DE BOSQUES Y SELVAS DE LA REGIÓN CAPITAL DEL ESTADO DE VERACRUZ". 5 de enero de 2015, Gaceta Oficial del Estado, Núm. Ext. 006, Págs. 1-51
- UNAM-SENDAS, 2008. Gestión Comunitaria y Ciudadana y Redes de Aprendizaje en la Zona de Recarga que Abastece de Agua a la Ciudad de Xalapa, en las Microcuencas de los Ríos Pixquiac y Xocoyolapan. 2º Informe Técnico Fondo Mixto, Gobierno del Estado de Veracruz, CONACYT (Proyecto 0000000037696).
- Vidriales G. y E. Aranda-Delgado, 2008. 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.



Extenso ID: 366. Cody Adkinsa, Miriam G. Ramos Escobedob, Alex Mayera, Robert Pastela, Robert Mansonc. RÍO MÍO – UNA APLICACIÓN DE CIENCIA CIUDADANA PARA LA COLECCIÓN Y PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LA SALUD DE RÍOS.

[Regresar al índice](#)

Institute of Ecology ^aMichigan Technological University, Department of Computer Science, 1400 Townsend Drive, Houghton, Michigan USA 49931, asmayer@mtu.edu

^bGlobal Water Watch, México, ^cInstituto de Ecología A.C., Carretera Antigua a Coatepec 351, Col. El Haya, CP 91070, Xalapa, Veracruz

RESUMEN

La aplicación RíoMío y su sitio web se desarrollaron para proporcionar una herramienta para recoger, almacenar, visualizar y analizar información descriptiva, georreferenciada sobre la salud de ríos en México. La aplicación y el sitio web se pretende empoderar a la sociedad civil para recoger, observar y analizar los posibles problemas de calidad del agua a escala local y regional. El objetivo final es proporcionar información espacial que llevará a la priorización de áreas para la resolución de problemas y para ayudar a incentivar la acción de los sectores pertinentes para enfrentar y resolver estos problemas. Han sido desarrollados en colaboración entre una organización no gubernamental (ONG), una equipo científicos y alumnos de una universidad y los ecólogos en un instituto de investigación trabajando en la zona de interés.

La aplicación y el sitio web han sido diseñados y codificados por nformáticos y estudiantes de la carrera de comunicación técnica, en respuesta a las características deseadas por los miembros de la ONG. El diseño se produjo en varias etapas, para permitir la interacción entre los estudiantes de diseño y la ONG. El diseño incluye intercambio interactivo de datos entre el dispositivo móvil y la base de datos. Las capas de datos capturadas incluyen parámetros descriptivos relacionados con el aspecto visual de la cauce del río y la zona de ribereña que la rodea, y por lo menos una identificación de primer nivel de las posibles áreas problemáticas. Se pueda acceder a la base de datos a través de la página web RíoMío, donde las observaciones se aprueban y se ponen a disposición clasificación a través de categorías como la hora y la fecha, la ubicación, y el parámetro descriptivo.

RíoMío usuarios pueden descargar la aplicación para teléfonos inteligentes, mismo que se puedan utilizar para registrar las observaciones en el campo y subirlas a la página web. El sitio web también cuenta con encuestas en las que los participantes pueden responder a preguntas sobre cuestiones generales y locales relacionadas con el agua y las cuencas hidrográficas de interés. La aplicación y el sitio web se han desarrollado principalmente para su uso en y alrededor de la ciudad de Xalapa, Veracruz, México, pero se pueden adaptar fácilmente para casi cualquier cuenca.



IV CONGRESO
NACIONAL

**MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Mesa 6. Procesos sociales y culturales con relación al manejo de cuencas.



Extenso ID: 132. Clara Margarita Tinoco-Navarro^a, Raúl Pineda-López^b, Gabriela Barrera-Aguirre^c.
PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA LA SUSTENTABILIDAD DEL CENTRO REGIONAL DE
CAPACITACIÓN EN CUENCAS.

[Regresar al índice](#)

^a Centro Regional de Capacitación en Cuencas, Circuito Vial Fray Junípero Serra Km. 8, antiguo
Aeropuerto, Qro., email: tinoco.clara@gmail.com

^b Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n Col. Las Campanas, Qro., email:
rufuspinedal@gmail.com

^c Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n Col. Las Campanas, Qro., email:
larragalagos@gmail.com

RESUMEN

El Centro Regional de Capacitación en Cuencas es un proyecto sinérgico entre instituciones de educación superior, organizaciones civiles y gubernamentales, que pretende desarrollar un modelo pedagógico donde se reciban a diferentes grupos escolares desde preescolar hasta posgrado, así como intercambios de capacitación campesino a campesino, sobre el manejo y gestión integrada de cuencas hidrográficas. Una parte importante de dicha capacitación es la que se reciba al interior de la comunidad, puesto que uno de los fines del CRCC es la capacitación a promotores de la comunidad quienes van apropiándose de los circuitos de capacitación que se están desarrollando. Con este proyecto se estableció una red de 28 promotores comunitarios de las microcuencas participantes del CRCC, incorporando la experiencia y puntos de vista de mujeres, hombres, adultos, jóvenes y niños promotores y el grupo operativo; se desarrollaron 6 materiales didácticos de acuerdo a sus percepciones de los proyectos y se realizó la capacitación en su preparación como guías y gestores de procesos de manejo de cuencas en sus comunidades, reflejando estas acciones en su participación como guías de senderos y talleres en su microcuenca. Una de las reflexiones más representativas de los promotores respecto a la capacitación, fue el reconocer la importancia del autoestima, comunicación y organización desde el individuo hacia la familia y la comunidad para generar procesos colectivos bajo un esquema colaborativo, donde se beneficie a la comunidad a través de la toma de decisiones desde un enfoque integral, la revalorización de los recursos locales para establecer proyectos productivos de acuerdo a las condiciones de cada microcuenca, la importancia del apoyo de las instituciones tanto en cuestiones de capacitación como para el financiamiento de los proyectos, así como la importancia del intercambio de experiencias para generar nuevas redes de trabajo, reconocer en otros el trabajo que se realiza en cada microcuenca y aprender de los éxitos y fracasos para construir juntos nuevos conocimientos, metodologías y procesos que les permitan mejorar sus proyectos y las condiciones de cada microcuenca.

Palabras clave: Promotores comunitarios, educación, organización, redes

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto constituye una innovación para estimular procesos educativos sobre el manejo del agua, tierra y biodiversidad a través del enfoque de cuencas, inicialmente basado en una microcuenca marginada tanto de manera social, espacial como económica, donde el problema central de la carencia de agua (no sólo de consumo para los humanos, sino para el ambiente), en las zonas semiáridas, es una



situación con pocas probabilidades de que se solucione, debido a las políticas desmedidas de dirección del uso del agua hacia las zonas urbanas, el desinterés por superficies de nuestro país que aparentemente no pueden ser desarrolladas y que, sin embargo, concentran poblaciones importantes, que ante la falta de oportunidades, migran a las ciudades (CRCC, 2015).

El CRCC que inició su desarrollo en el año 2010, ha sido de gran utilidad para mostrar a campesinos, empresarios, estudiantes y agentes gubernamentales las diversas actividades que se pueden llevar a cabo en comunidades marginadas para rehabilitar, manejar y usar adecuadamente los recursos naturales, pues las condiciones actuales de la microcuenca reflejan aquellas que suceden en más del 50% de nuestro país. A través del Circuito de Capacitación que incluye otras microcuencas en distintas condiciones de manejo, es posible ampliar la oferta educativa respecto a las buenas prácticas para el manejo de cuencas. Además, el establecimiento de un programa de educación ambiental incluyente donde se trate de manera diferenciada la toma de decisiones y la participación en el manejo integrado de cuencas de públicos específicos de niños, jóvenes y hombre y mujeres permite difundir las metodologías y prácticas implementadas en la microcuenca, que serán viables y adecuadas para transitar hacia un estilo de desarrollo sustentable (donde la equidad de género y la adaptación al cambio climático son dos pilares fundamentales), a través de la divulgación, capacitación y comunicación con otros sectores (CRCC, 2015).

Educación Ambiental en Cuencas

La educación ambiental ha sido asumida como uno de los instrumentos de gestión ambiental, con lo cual al destacarse sólo su función instrumental en apoyo a objetivos institucionales considerados más relevantes (conservación, reforestación, manejo de desechos, entre otros aspectos), se le ha restringido su potencial de alcanzar fines propios en el área de formación valores y actitudes. La educación para el manejo de ecosistemas, es una propuesta educativa que no sólo atiende las especificidades sociales, culturales y económicas de la población meta y, por tanto sus anhelos de cambio social, sino también las propias características biofísicas de los ecosistemas implicados. Todo lo cual presenta mejores posibilidades para decidir colectivamente sobre las prioridades en materia de ordenamiento territorial, demarcación de áreas de conservación, formas e intensidad de aprovechamiento de los recursos naturales disponibles e identificación de necesidades de restauración de ecosistemas (Castillo y González, 2010).

En nuestro país, se ha adoptado el enfoque de Educación Ambiental para la Sustentabilidad, considerando que el concepto 'sustentabilidad' es más abierto, permite dialogar con el 'desarrollo sustentable' y se vuelve susceptible de reconstrucción desde los países latinoamericanos. La sustentabilidad se concibe como un proyecto de futuro en construcción, que deberá enfatizar los valores ambientales para reforzar su propio proceso. La sustentabilidad es más un proceso y una forma de vida que un fin (Complexus, 2004).

En la gestión integrada de cuencas, uno de los ejes relevantes en torno al tema del manejo de los recursos naturales es la articulación entre los diferentes actores, surgiendo la necesidad de fomentar la comunicación y participación de los usuarios de estos recursos, desde un punto de vista local e integral. Sin embargo, entre los actores involucrados existen diferentes formas de percibir la cuenca y sus elementos, ocasionando un rompimiento en la comunicación, con riesgo a que los proyectos puedan resultar extensionistas en vez de participativos, como se pretende dentro de este enfoque (Tinoco, 2010).

El manejo integrado de cuencas, es un proceso por naturaleza, sumamente dinámico y complejo debido a las diferentes etapas y procesos de los proyectos que se deben llevar a cabo, en este sentido se requiere de herramientas que le refuercen y potencialicen; el desarrollo de estrategias de comunicación que, contribuyan a alcanzar los objetivos del proyecto y a lograr la apropiación tanto de la temática



como del proceso por parte de los actores sociales e institucionales involucrados. En este sentido, los esfuerzos y trabajos que forman parte de los proyectos de Gestión Integrada de Cuencas se verán altamente beneficiados y fortalecidos si se cuentan con mecanismos que le permitan de forma continua informar e involucrar a la sociedad con miras de generar mayores procesos de comunicación participativa para la educación ambiental, con el objetivo y visión principal de llegar de forma más efectiva y directa a la conciencia de la población y lograr una paulatina aceptación y arraigo de la información, fomentando una mayor participación y respuesta (Mendivil, 2008).

En este sentido, la participación de la población es importante no solamente en la fase de implementación, sino desde su diseño, planeación y aplicación, donde las problemáticas y recomendaciones de manejo de los técnicos o especialistas pueda hacerse de forma participativa entre los diferentes actores que tienen incidencia en un mismo territorio, pero con diferentes concepciones e intereses respecto a la cuenca, los recursos naturales y su relación con la calidad de vida y economía de la región. Es entonces cuando la comunicación y educación ambiental representan herramientas elementales que permitan mejorar el diálogo entre actores y sus diferentes formas de uso y aprovechamiento de los recursos en la cuenca, tomando en cuenta no solamente la dinámica ambiental de la misma, sino las realidades locales o regionales, culturales y económicas de la población (Tinoco, 2010).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Las líneas de acción se determinaron para atender las necesidades detectadas en cuanto a educación, comunicación y capacitación, tomando en cuenta el público objetivo de acuerdo a sus características, incluyendo la organización de grupos locales mixtos de promotores, material didáctico diferenciado y capacitación dirigidos a público específico antes mencionado (figura 1)

Etapas 1. Organización de grupos locales mixtos de promotores

Las características de los grupos de promotores son incluir a aquellas personas que han participado previamente en procesos de capacitación, recorridos guiados o en proyectos para el establecimiento de buenas prácticas, así como en estar interesados en seguirse capacitando y ser capacitadores y / o multiplicadores en su comunidad y otras cercanas. Los grupos formados cumplen con la característica de ser mixtos, es decir representativos de diferentes sectores: jóvenes, adultos, hombre y mujeres, para asegurar la representatividad de las perspectivas de cada sector de acuerdo a sus condiciones y que, éstas sean incorporadas en el proceso de replicación de las capacitaciones en las comunidades de sus microcuencas.

Etapas 2. Elaboración de materiales didácticos diferenciados

Se realizó el diseño de materiales didácticos validados por el grupo de promotores de las comunidades participantes, el contenido de los guiones se basa en las declaraciones e historias de los promotores y miembros de la comunidad participante. La elaboración de material didáctico tiene el objetivo de contar con materiales locales que permitan difundir las experiencias y buenas prácticas entre las comunidades y los visitantes, así como fortalecer las actividades de comunicación durante las actividades de capacitación y recorridos guiados de los promotores.



Figura 1. Líneas de acción del programa

Etapas 3. Capacitación

El proceso de capacitación constó de dos aspectos básicos: Capacitación al grupo de promotores comunitarios a través de grupos de desarrollo sustentable local como GRUPEDSAC, la COMUNIDAD SAN JUAN NUEVO y EL MAIZ MÁS PEQUEÑO; y el segundo aspecto es la capacitación de los promotores a otros públicos específicos, de esta forma, los espacios de capacitación, temáticas y actores en este proceso educativo son variados, pues forman parte de las actividades de los promotores como parte del proyecto integral del CRCC.

A través de la realización de los talleres, se realizaron capacitaciones en diferentes espacios:

- Escuela (niños, jóvenes y maestros)
- Comunidad (familias)
- En las viviendas, áreas de buenas prácticas y senderos guiados (visitantes)
- En las oficinas de la Universidad Autónoma de Querétaro

Los mecanismos de capacitación, son tres básicos:

- Pláticas y talleres temáticos y por público diferenciado
- Visitas guiadas a estudiantes, otras comunidades y funcionarios
- Intercambio de experiencias con otras comunidades e intercambios de capacitación.

Los temas de capacitación incluyeron tres aspectos fundamentales:

- Ambiental: Capacitación y sensibilización respecto a energías renovables, ecotecnias, cambio climático, reciclaje, ahorro de agua, conservación del suelo, agua y la biodiversidad entre otros relacionados con las buenas prácticas y el manejo integrado de cuencas.
- Social: Capacitación sobre integración, trabajo en equipo, equidad de género, desarrollo humano y temas referentes al fortalecimiento de los grupos de promotores que forman la red.
- Económico: Capacitación sobre oferta educativa y mejora de servicios de capacitación externa para promotores locales y aspectos de producción sustentable y administración.

3 RESULTADOS

Etapas 1. Organización de grupos locales mixtos de promotores

En total en el grupo promotor de las comunidades se encuentran 16 adultos (10 mujeres y 6 hombres); 18 jóvenes (7 mujeres y 11 hombres) y 2 niños (1 mujer y 1 hombre). Como parte del proceso de fortalecimiento de capacidades, se inició la red de promotores comunitarios, donde firmaron los representantes de 3 de las microcuencas participantes en el proyecto.

Etapas 2. Elaboración de materiales didácticos diferenciados

Se realizó el diseño de materiales didácticos validados por el grupo de promotores de las comunidades participantes, el contenido de los guiones se basa en las declaraciones e historias de los promotores y miembros de la comunidad participante. Los productos generados fueron: 1 Manual para promotores, 1 Cuadernillo para niños, 2 Cuadernillos para jóvenes y 2 Cuadernillos para adultos como nuevos diseños aunados a los cuadernillos y materiales de difusión diseñados para la microcuenca La Joya dentro de su Programa de Educación Ambiental para la Sustentabilidad (figura 2).



Figura 2. Algunos materiales didácticos elaborados, de izquierda a derecha: Cuadernillo para niños “Microcuenca Mesa de Escalante, ganadería sustentable”; Comic para jóvenes: “Microcuenca La Joya”; Libros para adultos: “La Carbonera, una historia comunitaria de construcción de un futuro diferente”; y “Mesa de Escalante: experiencias comunitarias en manejo integrado de cuencas y ganadería sustentable”

Etapas 3. Capacitación

Se realizaron 8 talleres de capacitación para el grupo de promotores comunitarios impartidos por grupos de desarrollo sustentable local como GRUPEDSAC, la COMUNIDAD SAN JUAN NUEVO y EL MAIZ MÁS PEQUEÑO (cuadro 1, figura 3).

MÓDULO	TEMA	OBJETIVO	CONTENIDO	FACILITADOR
1	AUTOGESTION Y CREATIVIDAD	Que los promotores reconozcan sus capacidades para la gestión de recursos, administración de sus proyectos y la creatividad que han tenido para desarrollarlos	<ul style="list-style-type: none"> Introducción a la autogestión La creatividad para el desarrollo de buenas prácticas La revalorización del trabajo comunitario 	UTEQ/CRCC
2	ENFORQUE DE CUENCA	Que los promotores comunitarios reconozcan el proyecto del CRCC desde los aspectos históricos, organización, capacitación y acción y los visualicen como parte de un proyecto integral	<ul style="list-style-type: none"> Antecedentes del proyecto Resultados y metas de cada microcuenca Perfil de los promotores comunitarios Análisis de experiencias de trabajo El futuro Experiencias de trabajo en cada MIC 	CRCC
3	GEO REFERENCIACION BÁSICA	Conocer la importancia de la Cartografía y nuevas herramientas como los SIG para facilitar y complementar sus capacidades como gestores de sus microcuencas, apoyando así a sus comunidades en la toma de decisiones	<ul style="list-style-type: none"> Cartografía básica Importancia de la cartografía en la microcuenca Sistemas de Información Geográfica Software Elaboración de mapas 	CRCC
4	DEMOSTRACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS	Conocer las buenas prácticas y su aplicación para el manejo integrado de cuencas intercambiar experiencias y metodologías en proyectos de manejo integrado de cuencas	<ul style="list-style-type: none"> Las buenas prácticas en el manejo integrado de cuencas Análisis de buenas prácticas 	CRCC
5	ORGANIZACION COMUNITARIA Y PROYECTOS PRODUCTIVOS	Conocer aspectos de la organización local, trabajo en equipo y toma de decisiones en proyectos productivos sustentables	<ul style="list-style-type: none"> Organización local Manejo forestal sustentable 	ECOTURISMO DE LA COMUNIDAD INDIGENA N.S.J.P.*
6	VIDA Y ALIMENTACIÓN SANA	Transmitir herramientas para incrementar la capacidad de tomar decisiones frente al Cambio Climático, fortaleciendo comunicación y ampliando conocimientos relacionados con la transformación de alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> Alimentación sana Ordenamiento de la vivienda Organización Desarrollo humano Situación local 	EL MAIZ MÁS PEQUEÑO A.C.*
7	ATENCIÓN AL PÚBLICO Y RECORRIDOS GUIADOS	Incorporar nuevas metodologías para el desarrollo de actividades de interpretación, senderos guiados y cómo hablar en público	<ul style="list-style-type: none"> Permacultura Ecotecnologías Senderos guiados Atención al público Senderos locales 	GRUPEDSAC*
8	DESARROLLO HUMANO Y EVALUACION ANUAL DEL PROCESO DE CAPACITACION	Que las y los participantes reflexionen sobre sus habilidades personales y de aporte al trabajo de grupo en las distintas microcuencas donde se desarrollan	<ul style="list-style-type: none"> Identidad e imagen personal Características personales y su aportación al trabajo grupal Evaluación y retroalimentación sobre el trabajo de capacitación 	Nancy Villegas García

Cuadro 1. Módulos de capacitación para promotores comunitarios



Figura 3. Capacitación para promotores comunitarios



Se realizaron actividades de Capacitación impartidas por los promotores a otros públicos específicos, donde los espacios de capacitación, temáticas y actores en este proceso educativo son variados, pues forman parte de las actividades de los promotores como parte del proyecto integral del CRCC, incluyendo como espacios de capacitación la escuela, comunidad, la UAQ, viviendas sustentables y senderos. Se realizaron 4 cursos de capacitación replicados y senderos guiados en las comunidades participantes, 1 visita de intercambio de experiencias entre participantes de las 8 comunidades, dentro del proyecto binacional “Uso ecosistémico de servicios ambientales de los recursos hídricos”, 6 visitas guiadas de jóvenes y niños de instituciones educativas y 11 actividades de capacitación tales como visitas guiadas, participación en eventos de exposición y talleres de buenas prácticas.

En total, se realizaron 32 actividades de capacitación: 8 talleres para promotores comunitarios, 4 talleres replicados; 6 visitas guiadas a escuelas, 7 visitas guiadas; 1 intercambio de experiencias; 2 talleres de buenas prácticas y 1 participación en exposición estatal y 3 en escuelas, con la participación de 823 personas que por público diferenciado son: 177 niños (81 hombres y 96 mujeres); 345 jóvenes (142 hombres y 203 mujeres) y 301 adultos (90 hombres y 211 mujeres). El resumen de resultados por etapa se muestra en el cuadro 2.

Objetivos	Actividades	Resultados
Establecer una red de promotores locales con capacitación en temas de educación ambiental y buenas prácticas para el manejo integral de cuencas hidrológicas.	Organización de grupos locales	Formación de una red de 20 promotores ambientales locales en las microcuencas participantes
Elaborar y difundir material didáctico diferenciado para maestros y/o promotores, jóvenes y niños para cada una de las microcuencas participantes	Diseño e impresión de material didáctico	Diseño de 12 materiales educativos e impresión de 120 manuales para promotores ambientales (800 cuadernillos para niños, 800 guías para jóvenes, 2000 cuadernillos para adultos)
Promover espacios de capacitación multinivel y multipropósito para público diferenciado: niños, jóvenes y adultos. Establecer mecanismos de difusión a partir de los procesos de intervención en la comunidad.	Capacitación	4 cursos de capacitación para promotores ambientales locales 4 cursos de capacitación replicados y senderos guiados en las comunidades participantes 1 visita de intercambio de experiencias entre participantes de las 8 comunidades 4 visitas guiadas de jóvenes y niños de instituciones educativas externas 820 personas capacitadas
	Evaluación	Evaluación de la capacitación por los promotores comunitarios

Cuadro 2. Resultados por etapa del proyectos

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este proyecto se fortaleció el proceso de capacitación de los promotores comunitarios participantes en el proyecto del CRCC, incorporando la experiencia y puntos de vista de los diferentes grupos representativos, desde mujeres, hombres, adultos, jóvenes y niños; se desarrolló el material didáctico basado en la comunidad y se logró la replicación de contenidos en talleres hacia la comunidad en espacios gestionados por ellos y organizados dependiendo de las necesidades del promotor y la comunidad.

Algunas de las reflexiones más importantes de este proceso fueron:



- Como parte de la red de promotores, se presentaron los avances cronológicos del trabajo que han realizado en cada una de las microcuencas, intercambiando la diversidad de historias y tiempos que llevan trabajando y el potencial para avanzar en sus comunidades.
- En la reflexión identificaron que la mayoría de los promotores son hombres y es importante aprender a incorporar más a las mujeres en sus trabajos.
- Se reconoció la importancia de ver las cualidades de mujeres y hombres más allá de los estereotipos y roles de género, ya que los hombres visualizaron que las mujeres de sus comunidades tienen características y cualidades que aportarían en gran medida al trabajo como promotores.
- Son necesarios espacios de interacción y diálogo entre promotores, para intercambiar conocimientos, técnicas y experiencias en el trabajo que hacen y cómo es que pueden hacer algo más vinculado.
- Se establecieron mejores condiciones para el trabajo en equipo y la comunicación, sin embargo es necesario seguir fortaleciendo los procesos para que las formas de comunicación entre el grupo operativo y los promotores sean más asertivas y el proyecto responda a los intereses locales de acuerdo a sus necesidades, situación personal y ambiciones.
- La importancia de que los proyectos y acciones se originen desde la comunidad y el grupo promotor funcione como gestor de estas iniciativas.

Actualmente, el grupo promotor prosigue con las acciones de capacitación al interior de sus comunidades, estableciendo una siguiente etapa de avance donde se están proponiendo 3 nuevos espacios demostrativos de buenas prácticas para el manejo integrado de cuencas, desde un enfoque de fortalecimiento de capacidades para la adaptación al cambio climático, lo cual permitirá la continuidad de las actividades del programa de educación para la sustentabilidad en cuencas, fortaleciendo el circuito de capacitación, a los promotores y habitantes de las microcuencas participantes.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a la Dra. Ana Luisa Toscano y a la Dra. Martha Merino del Centro de Capacitación para el Desarrollo Sustentable CECADESU, por el apoyo para este proyecto, que fue financiado a través del programa de Subsidios para Educación Ambiental y Capacitación.

Agradecemos a los promotores comunitarios del CRCC: María Consuelo Cruz Sánchez, Rosa Balderas Moreno, María de los Ángeles Moreno Sánchez, María Azucena Lara Jiménez, Abelina Filiberta Sánchez Balderas, Mercedes Sánchez Bustamante, María de la Luz Ruiz Guerrero, Margarita Moreno Pacheco, Isabel Mendoza Moreno, Minerva Maya Morales, Noé Yáñez Sánchez, José Guadalupe González Morales, Raúl Padrón Pérez, Melior Maya, Miguel Maya, María del Socorro Moreno Maldonado, Mireya Lara Moreno, María de Jesús Yáñez Balderas, Adela Jiménez Ortiz, María Cecilia Lara Sánchez, Ana Delia Moreno Pacheco, Patricia Karina Pacheco Moreno, Mario Abel Moreno Ruiz, Juan Daniel Campos Escobedo, Juan Pablo Sánchez Mendoza, Héctor Vicente Sánchez Rico, Juan Carlos Campos Guerrero, José Quintín Guerrero Campos, Everardo Escobedo Pacheco, Jesús Pacheco Mendoza, Iván Pérez Padrón, Everardo Pérez Padrón, Daniel Balderas Cruz, María Guadalupe Balderas Cruz y Juan Diego Balderas Cruz; así como a los habitantes de las comunidades La Joya, Charape de La Joya, El Pinalillo, Huimilpan, Mesa de Escalante y La Carbonera, por su disposición al intercambio de experiencias y por el gran trabajo que han realizado de manera colectiva para mejorar las condiciones de vida de su microcuenca.



A la Fundación Gonzalo Río Arronte, quien ha otorgado financiamiento para el proyecto del Centro Regional de Capacitación en Cuencas a través de su programa Agua para comunidades marginadas.

6. LITERATURA CITADA

- Castillo, A y González, E. (Coordinadores). 2010. Educación ambiental y manejo de ecosistemas en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. 268 p.
- Centro Regional de Capacitación en Cuencas. 2015. Programa de Educación para la Sustentabilidad en el Circuito de Capacitación en Cuencas. Inform Final. Universidad Autónoma de Querétaro. 117 p.
- 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.
- Mendivil, B. 2008. Estrategia de Comunicación para la Difusión del Conocimiento de Arbustivas Nativas en la microcuenca Santiago de Querétaro. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Qro. 147 pp.
- Tinoco, 2010. Educación ambiental y Comunicación para el Manejo Integrado de la Subcuenca Tábula-Picachos, San Miguel de Allende, Gto. 103 p.



Extenso ID: 79. Salvador Luna Vargas^a, Larisa I. Alcérreca Molina^b, Irma B. Suárez Rodríguez^c. EL APROVECHAMIENTO TURÍSTICO DEL AGUA EN LA HUASTECA POTOSINA: ALGUNOS RETOS ANTE SU NOMBRAMIENTO COMO GEOPARQUE UNESCO

[Regresar al índice](#)

^a Maestrante en Administración e Innovación del Turismo, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Turismo, Instituto Politécnico Nacional. Miguel Bernard 39, La Escalera, C.P. 07630, Ciudad de México, México. E-mail: salvador_luna14@yahoo.com.mx

^b Profesora-Investigadora de Tiempo Completo, Sección de Estudios de Posgrado, Escuela Superior de Turismo, Instituto Politécnico Nacional. Miguel Bernard 39, La Escalera, C.P. 07630, Ciudad de México, México. E-mail: larisa_alcerrecam@hotmail.com

^c Profesora-Investigadora de Tiempo Completo, Programa Educativo de Turismo Sustentable, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Campus Huasteca. Romualdo del Campo 501, Rafael Curiel, C.P. 79060, Ciudad Valles, San Luis Potosí. E-mail: irma.suarez@uaslp.mx

RESUMEN

Este artículo versa sobre la relación de los prestadores de servicios turísticos de la Huasteca potosina y los compromisos que el nombramiento como Geoparque Mundial ante la UNESCO⁴ puede generarles en el aprovechamiento del agua. Esta propuesta es resultado de una investigación sobre el análisis de los productos y servicios existentes utilizando el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Mediante Indicadores de Sustentabilidad - MESMIS (Masera, Astier y López-Ridaura, 2000). De esta manera, se realizó un estudio de la sustentabilidad en el turismo desde una visión multidisciplinaria y de perspectiva en gestión del agua, a través de técnicas de análisis como trabajo de campo y de gabinete, que incluye la revisión de estudios realizados por investigadores especializados en la región, y la aplicación de entrevistas semi-estructuradas, a partir de dos estudios de caso en la subcuenca del río Tampaón, con el objetivo de examinar la actividad turística y entender las limitantes y posibilidades para la sustentabilidad en los procesos ambientales del ámbito social y económico de las comunidades locales.

En esta investigación se presentan los resultados acerca de algunos hallazgos sobre las condiciones que limitan el desarrollo sustentable de la actividad turística, en especial por el manejo de subcuenca de la Región Hidrográfica del Pánuco. Con lo que se concluye que existe la necesidad de implementar instrumentos nuevos que apoyen la función de administrar las aguas nacionales. En este sentido los consejos de cuenca requieren identificar los compromisos que pueden adoptar los involucrados en el aprovechamiento del recurso, de tal forma que pueda ser monitoreada la contribución del sector al desarrollo sustentable. La búsqueda de un beneficio social equitativo y ambientalmente sano e incluyente para las comunidades receptoras compromete a varios sectores y requiere seguimiento. Los instrumentos sugeridos son indicadores que orienten a comprobar si los involucrados en el desarrollo del turismo en el territorio corresponden al modelo organizativo comunitario con el fin de fortalecer lo local, por medio de un aprovechamiento sustentable del agua y un proceso de aprendizaje colectivo.

Palabras clave: Aprovechamiento turístico del agua, Gestión del agua, Evaluación de la sustentabilidad en el turismo.

⁴ Propuesta elaborada por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y la Red Iberoamericana de Ciencia, Naturaleza y Turismo (RECINATUR) en colaboración con otras universidades del país, autoridades municipales, Secretaría de Turismo de San Luis Potosí, asociaciones y organizaciones civiles, medios de comunicación, empresas locales, ONG's y comunidades locales (urbanas, rurales e indígenas).



1. INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas han sido el motor biológico, económico y social del mundo, y el medio de subsistencia de miles de comunidades humanas a lo largo de sus diversas regiones (Toledo, 2006). Sin embargo, esto ha conllevado a la modificación de los cuerpos y corrientes de agua para un beneficio económico: desde la expansión de la agricultura, el incremento del comercio a lo largo de las rutas de navegación, la generación de energía hidroeléctrica, hasta el desarrollo de la actividad turística en las zonas litorales y aguas epicontinentales.

La actividad turística depende directa e indirectamente del recurso hídrico para su ejecución y desarrollo, además se ha convertido en un factor fundamental en la modificación de los paisajes en el entorno natural, socio-cultural y económico de las comunidades receptoras, en función de los visitantes y de la concepción de estética del turista en el paisaje; además de la demanda de servicios de transporte, alojamiento, alimentación y esparcimiento. Lo anterior repercute en la contaminación de cuerpos de agua, sobreexplotación de los recursos naturales, cambio de uso de suelo y modificación de los ecosistemas, etc. causando el desplazamiento, pérdida y sustitución de flora y fauna, entre otros; por lo tanto en una pérdida de los servicios ambientales culturales, de provisión, regulación, y de soporte; situación grave, tomando en cuenta las características geográficas de México, que lo convierten en uno de los países más vulnerables a los efectos del cambio climático, como se menciona en el Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (Segob, 2013).

1.1. Región Huasteca potosina

La Huasteca es considerada por varios investigadores, como una región rica en biodiversidad y cultura, resultado de su historia geológica, los fenómenos volcánicos, la fisiografía, los climas, y sus paisajes; además de ser un área de transición entre Mesoamérica y Aridoamérica que ha permitido el desarrollo de distintos grupos étnicos y sus manifestaciones culturales de las que ha sido testigo este territorio (Rzedowski, 1992; Ariel de Vidas, 2003; Puig y Lacaze, 2004; Ruvalcaba, 2004; Stresser-Péan, 2008). Lo anterior dio origen a una serie de acontecimientos que proyectó a esta región como un motivo de viaje para los viajeros que buscaban una alternativa al turismo de sol y playa, sobre todo, aquellos que tenían como principal motivo el contacto con la naturaleza y las actividades que implicaran un reto físico. De esta manera, la actividad turística se sumó a las actividades agrícolas ya realizadas, como: el cultivo de caña de azúcar, de introducción colonial en las llanuras, el café en la serranía, y el cultivo de cítricos que reemplazó grandes porciones de selva, que predominaban todavía hasta los años cuarenta en los municipios de Aquismón, Coxcatlán, Huehuetlán, San Antonio, Tampamolón, Tancanhuitz, Tanlajás, y Tamazunchale (Barthas, 1996), además de la ganadería introducida desde la época colonial. Por tal motivo, el turismo se convirtió en una alternativa para las comunidades asentadas en las regiones con mayores atractivos naturales, frenando la ampliación de la agricultura y la ganadería que reducía la productividad de las selvas y bosques de la región. Es importante mencionar que el turismo en la Huasteca comenzó a crecer de una manera muy lenta después de la década de los ochenta, posteriormente en los noventa el turismo de aventura adquirió adeptos atraídos a superar los retos impuestos por la naturaleza, principalmente en cuerpos de agua de la región. No fue sino hasta el año 2001 que la Secretaría de Turismo hace propuestas de desarrollo para el segmento de naturaleza, y más tarde la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, en 2007, con el Programa de Turismo Alternativo en Zonas Indígenas (PTAZI).

1.2. Geoparque

El proyecto de aspiración a Geoparque en la Huasteca potosina surge como una forma de integrar un área delimitada de la región, con el objetivo de obtener el nombramiento para ser miembro de la Red Mundial de Geoparques (GGN). La finalidad del nombramiento es la de promover el patrimonio de la tierra, respondiendo a la necesidad de un marco internacional para la conservación, y la puesta en valor de los paisajes y formaciones geológicas de las regiones aspirantes.



Las iniciativas de Geoparques Nacionales, que buscan el apoyo de la UNESCO, deberán integrar la conservación de importantes ejemplos del patrimonio geológico con una estrategia regional de desarrollo socio-económico y cultural, salvaguardando el medio ambiente, además de respetar los términos de las Directrices y criterios para Parques Nacionales de la Red Mundial de Geoparques (GGN) (Unesco, 2010).

El territorio propuesto comprende nueve de los veinte municipios (10,971 km²) que conforman la región Huasteca, en una superficie aproximada de 7,902 km², conformada por un aproximado de 444,526 habitantes, sin embargo, son 671,269 los habitantes que comprenden la Huasteca potosina (Inegi, 2011), siendo ésta, la segunda con mayor población después de la zona centro. A pesar de eso, la Huasteca es la zona con menor PIB Per cápita del estado, y la segunda en PIB regional, demostrando la desigualdad en el ingreso; además en la región se refleja un alto grado de marginación, ya que tres de sus municipios se encuentran en muy alta marginación, mientras que 13 de ellos se ubican en alta marginación, debido al rezago educativo, carencia de servicios básicos en las viviendas, bajos ingresos y su residencia en pequeñas localidades (Sedesore, 2015).

2. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para el estudio de caso de esta investigación fue la metodología MESMIS (Masera, Astier y López-Ridaura, 2000), la cual tiene una orientación práctica y se basa en un enfoque participativo mediante una visión interdisciplinaria, que permite entender las limitantes y posibilidades para la sustentabilidad en los procesos ambientales del ámbito social y económico. La evaluación de la sustentabilidad se lleva a cabo en sistemas de manejo específicos de un determinado lugar geográfico, una escala espacial o en una escala temporal. En este caso se compararán simultáneamente dos sistemas de manejo alternativo con un sistema de referencia (comparación transversal). A pesar de ser una metodología enfocada principalmente en los sistemas de producción es posible incluir otro tipo de actividades con el manejo de recursos naturales como es el caso de la actividad turística (Astier, Masera y Galván-Miyoshi, 2008).

2.1. Localización

El área de estudio se encuentra dentro de los límites de la Región Hidrológico-Administrativa (RHA) IX Golfo Norte, organizada en la región hidrológica 26 del Río Pánuco (RH26), y subdividida en la subcuenca del afluente del río Tampaón. De acuerdo a Pereyra, Pérez y Salas (2010), la cuenca del Río Pánuco se sitúa geográficamente entre los 19° 01' y 23° 50' latitud norte, y entre 97° 46' y 101° 21' longitud oeste.

La Cuenca del Pánuco tiene un escurrimiento natural medio superficial de 19, 673 millones de m³ por año, con un área de 84,956 km² y una longitud de 510 km (Conagua, 2015), de la cual desborda ampliamente en la Huasteca potosina. El área específica de estudio se desarrolla en una subcuenca, resultado de la confluencia entre el Río Gallinas (cascada de Tamul) y el Río Santa María, en donde cambia su nombre a río Tampaón. Este río es considerado uno de los ríos de mayor caudal en la región, que además se sitúa dentro del límite administrativo del municipio de Aquismón, San Luis Potosí. La fisiografía que compone el área es la provincia de la Sierra Madre Oriental y una pequeña porción de la Llanura Costera del Golfo Norte, con la mayor porción ubicada dentro de la subprovincia del Carso Huasteco. Un dato importante de mencionar, es que la Cascada de Tamul (formación del río Tampaón) está integrada dentro de los 56 Geositos contemplados para el proyecto de Geoparque, siendo esta formación, el Geosito 32, catalogada con un nivel de importancia internacional.

La subcuenca del Río Tampaón discurre en las dos localidades de estudio, y se encuentran en los ejidos La Morena y Tanchachín, situados al margen del río, a una altitud promedio de 90 msnm. De acuerdo a Cantoral (2004), su clima es de tipo semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con un porcentaje invernal menor de 5% (A) C (m) (w). Es importante mencionar que las dos localidades se

encuentran adjuntas prácticamente en el origen del Río Tampoán; la primera se localiza entre las siguientes coordenadas: 21° 47' 34" de latitud norte y longitud oeste 99° 08' 21", mientras que el ejido Tanchachín 21° 49' 40" latitud norte y 99° 08' 41" longitud oeste.

Respecto al uso de suelo y vegetación, se observa que en estas localidades existen extensas áreas de agricultura de temporal (Segam, 2008) y con algunas porciones de selva perennifolia y subperennifolia, principalmente en las partes más altas, donde cruza la Sierra Madre Oriental. El suelo predominante en esa zona es el leptisol (Inegi, 2009).

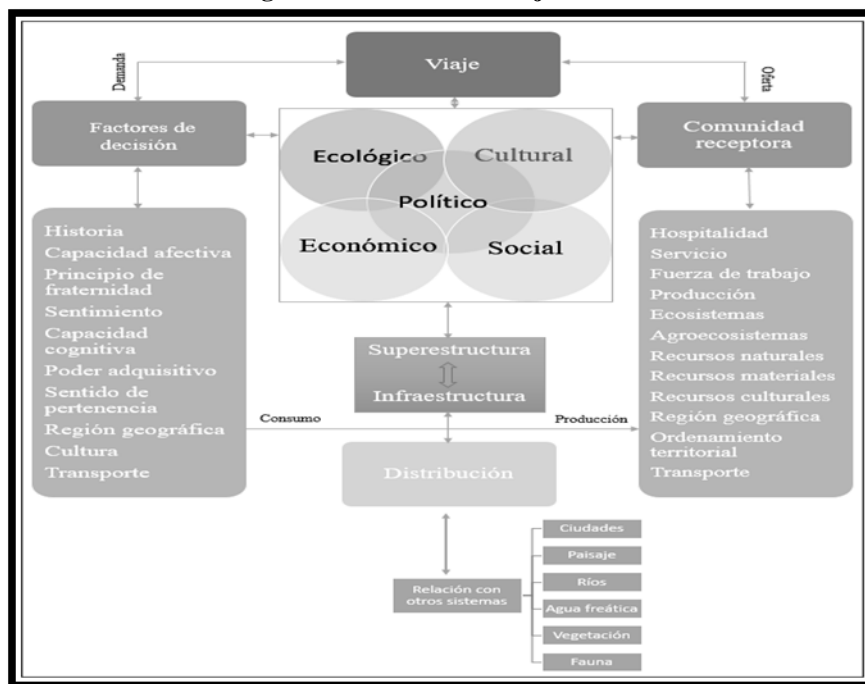
En lo referente a aspectos socio-demográficos, el ejido La Morena tiene una población total de 306 habitantes, mientras que Tanchachín tiene un total de 896 habitantes (Sedesol, 2014), mostrando una variación mínima en el periodo 2005-2010. Estas dos localidades se encuentran en un grado de marginación municipal muy alto, mientras que el grado de marginación de las dos localidades es alto, diferenciándose sólo en el grado de rezago social, ya que en el caso de La Morena es medio, y el de Tanchachín bajo.

2.2. Definición del objeto de evaluación

El sistema de manejo que se analizó en este estudio de caso es el sistema turístico, el cual está compuesto por diversos elementos que forman y actúan como una unidad; en ese sentido, los componentes que se describirán serán físicos (suelo, clima y sistemas productivos), biológicos (flora y fauna) y socioeconómicos (familia, unidad de producción). En este caso se propone definir el sistema de manejo turístico adaptado al del sistema turístico (Sistur) diseñado por Beni (1998, cit. en Panosso, 2008).

Como se mencionó anteriormente, el MESMIS propone la evaluación de la sustentabilidad a través de la comparación de uno o más sistemas con un sistema de referencia, ya sea de manera transversal o longitudinal; de esta manera se evitan aseveraciones absolutas, "pues es imposible obtener una medida absoluta de sustentabilidad" (Maser, Astier y López-Riudaura, 2000).

Figura 1. Modelo de manejo turístico



Fuente: elaboración propia en base al modelo de Beni (1998).

De acuerdo a la metodología empleada, la caracterización del sistema de manejo debe incluir 1) los componentes biofísicos, 2) los insumos y productos necesarios, 3) las prácticas que involucran cada sistema, y 3) las principales características socioeconómicas de los productores (en este caso prestadores de servicios) y los niveles y tipos de organización. El siguiente cuadro ilustra la comparación que se hará de las dos localidades:

Tabla 1. Sistemas de manejo de referencia turístico

<i>Determinantes del sistema turístico</i>		<i>Sistema de manejo de referencia</i>	<i>Sistema de manejo alternativo</i>
Biofísicas originales		Clima: tipo semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con un porcentaje invernal menor de 5% (A) C (m) (w). Precipitación 1500-3000 mm. Vegetación original: selva perennifolia y subperennifolia (Puig, 1991). "Por su naturaleza cárstica, los acuíferos de la Huasteca son más susceptibles a la contaminación que los de otras regiones, por la relativa facilidad con la que se lleva la filtración del agua" (Montejano, 2004).	
Tecnologías de manejo	Segmento turístico	Turismo de naturaleza	Turismo de naturaleza
	Actividades	Recorrido turístico a través del flujo del río en lancha de madera sin motor.	Recorrido turístico a través del flujo del río en lancha de madera sin motor.
	Tecnología empleada	Manual	Manual
	Mano de obra empleada	75 guías de río (lancheros), con el apoyo de un aprendiz por cada guía.	90 guías de río (lancheros).
	Manejo de residuos		
	Tipo de Tratamiento de aguas residuales	Fosa séptica/Tanques sedimentarios	Fosa séptica con placa
	Reciclaje	Recolección de baura	Recolección de basura
	Prácticas de conservación		
Socioeconómicas y culturales	Prácticas de conservación de suelo	Reforestación	No
	Prácticas de conservación de agua	No	No
	Actividades alternativas al turismo	Trabajo en la construcción/peón ganadero.	Jornaleros en corte y limpieza de caña de azúcar
	Características de la organización turística	Comunitaria	Comunitaria
	Características de los prestadores de servicios	Organización comunitaria regular durante todo el año	Organización comunitaria principalmente en temporada alta
Socioeconómicas y culturales	Objetivo del servicio	Obtener ingresos monetarios.	Obtener ingresos monetarios alternativos a las actividades cotidianas
	Características de la organización turística	Lancheros de Tamul (cooperativa)	Aventureros del Río Tapaón (cooperativa)

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos del trabajo de campo y gabinete

2.3. Identificación del punto crítico del sistema

Para poder identificar los posibles puntos críticos del sistema a evaluar, es necesario analizar los aspectos o procesos que limitan o fortalecen la capacidad de los sistemas para sostenerse en el tiempo. Los puntos a identificar pueden ser factores o procesos ambientales, técnicos, sociales, y económicos que en forma individual o grupal pueden llegar a tener un efecto en la permanencia del sistema estudiado, sin embargo, la evaluación al ser un proceso interactivo, puede llegar a no considerar inicialmente aspectos específicos. Masera *et. al* (2000) menciona que para que el marco de evaluación sea consistente teóricamente es necesario que los atributos tengan propiedades sistémicas fundamentales a fin de cubrir las expectativas de la sustentabilidad. El MESMIS propone siete atributos básicos de la sustentabilidad, los cuales son: 1) productividad, 2) estabilidad, 3) resiliencia, 4) confiabilidad, 5) adaptabilidad (o flexibilidad), 6) equidad, y 7) auto dependencia (o autogestión en términos sociales). Es importante resaltar que se deben incluir las propiedades endógenas y exógenas con las que relaciona el sistema. Posterior a identificar los puntos críticos del sistema se procede a

relacionarlos con los atributos de la sustentabilidad. Los criterios propuestos en el objeto de estudio se muestran a continuación:

Tabla 2. Posibles puntos críticos para la sustentabilidad de los sistemas de manejo

<i>Atributo</i>	<i>Puntos críticos</i>
Productividad	Bajos rendimientos
	Baja calidad del servicio
	Bajas oportunidades laborales
	Prestadores de servicios no capacitados
Estabilidad	Abandono de actividades tradicionales debido al turismo
	Inestabilidad de la cooperativa
Confiabilidad y Resiliencia	Desastres naturales
	Crísis económicas
	Sobreexplotación del agua
	Contaminación en los cuerpos de agua
Adaptabilidad	Inseguridad
	Estacionalidad
	Baja diversificación del producto turístico
	Cooperativas no organizadas
Equidad	Renuencia de los habitantes locales con el turismo
	Escasez de agua
	Nula participación de las mujeres en la actividad turística
	Marginalidad de la población local por falta de acceso a los beneficios económicos del turismo
	Migración
Autodependencia (autogestión)	Distribución injusta de beneficios intergeneracionalmente
	Nula participación de la comunidad
	Dependencia de insumos y factores externos
	Nula organización entre los prestadores de servicios
	Dependencia a programas públicos
	Dependencia de privados

Fuente: Elaboración propia en base al propuesto por Masera, Astier y López-Riudaura (2000).

2.4. Selección de los criterios de diagnóstico e indicadores

El procedimiento a seguir es seleccionar los criterios de diagnóstico, los cuales aseguran un vínculo entre indicadores, puntos críticos y atributos de sustentabilidad. Estos criterios describen los atributos generales de la sustentabilidad, ya que muchas veces no son suficientes los indicadores aislados. De acuerdo a Masera *et. al* (2000), para que el sistema de evaluación sea realmente operativo, los indicadores deben tener algunas de las siguientes características:

- Ser integradores. De preferencia tienen que describir otros procesos además del inmediato.
- Ser fáciles de medir, susceptibles de monitorear y basados en información fácilmente disponible.
- Ser preferentemente aplicables en un amplio rango de ecosistemas y condiciones socioeconómicas y culturales.
- Estar basados en información de base (directa o indirecta) confiable.
- Ser sencillos de entender.

Bajo esta premisa se elaboraron los criterios de diagnóstico sujetos a las consideraciones anteriores, a los cuales se les proporcionaron parámetros de medición para las dimensiones económica, social y ecológica, con los siguientes valores: (20) no sustentable, (40) poco sustentable, (60) regular, (80) sustentable y (100) muy sustentable. De esta manera se establece un valor numérico que permite ponderar las cualidades de cada criterio, permitiendo así obtener los resultados en la evaluación de la sustentabilidad del turismo en la zona de estudio (véase la tabla 3).

2.5. Medición y monitoreo de los indicadores

Después de haber asignado valor a los indicadores multidimensionales, con la lista final de indicadores ambientales, económicos, sociales o mixtos, se debe discutir el procedimiento para la medición y monitoreo, tal y como se hizo en la sección anterior. Para definir el peso o el valor de asignación a los criterios se pueden tomar en cuenta: a) la revisión bibliográfica; b) mediciones directas; c) muestras experimentales; d) modelos de simulación; e) encuestas; f) entrevistas formales e informales, y g) las técnicas grupales. Dentro del MESMIS las escalas de medición incluyen generalmente la parcela, la unidad productiva, la comunidad y la cuenca o región. En este caso se aplicó para la actividad turística con un enfoque de subcuenca o micro región.

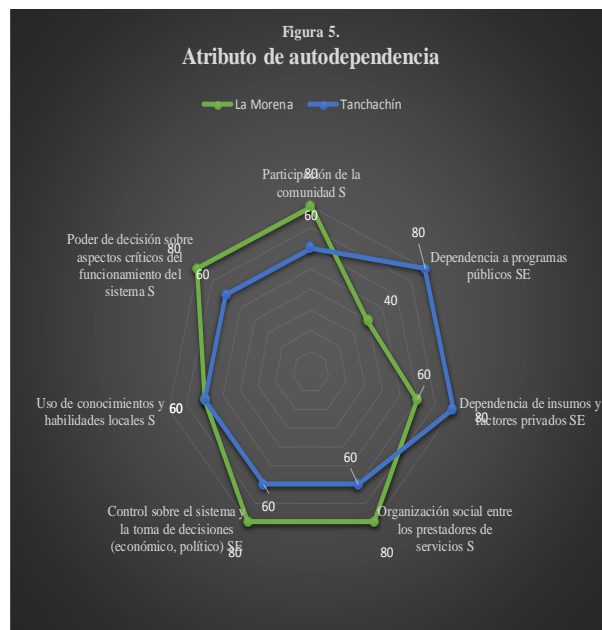
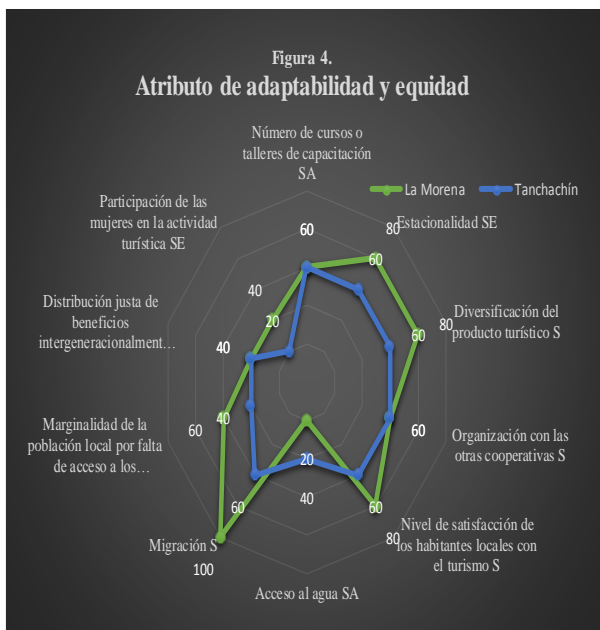
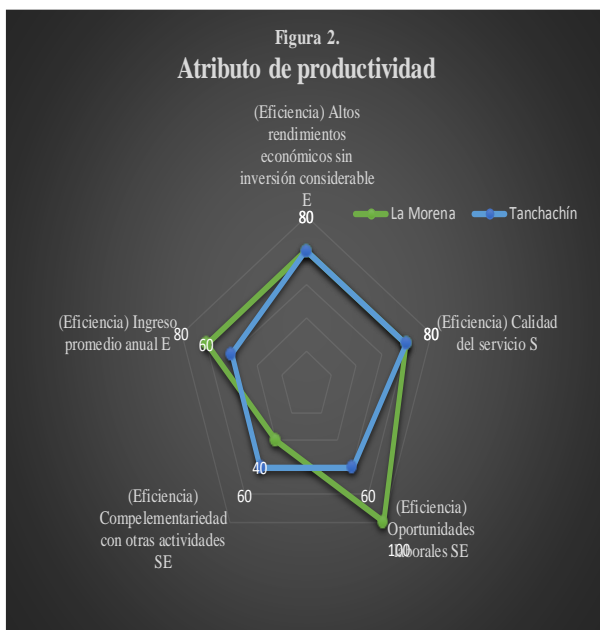
Tabla 3. Criterios de diagnóstico e indicadores de sustentabilidad

<i>Atributo</i>	<i>Criterios de diagnóstico</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Áreas de evaluación</i>	<i>La Morena</i>	<i>Tanchachín</i>
Productividad	Eficiencia	Altos rendimientos económicos sin inversión considerable	E	80	80
		Calidad del servicio	S	80	80
		Oportunidades laborales	SE	100	60
		Complementariedad con otras actividades	SE	40	60
		Ingreso promedio anual	E	80	60
Estabilidad	Distribución de riesgos	Abandono de actividades tradicionales debido al turismo	S	40	60
		Consolidación de la cooperativa	S	80	60
		Tiempo de permanencia	S	80	80
Confiabilidad y Resiliencia	Diversidad	Diversidad biológica de la región	A	80	80
		Número de especies vegetales en la agricultura	A	40	60
		Número de etnias involucradas en el manejo de recursos	S	20	20
	Conservación de recursos	Calidad del agua del río	A	80	80
		Contaminación de cuerpos de agua	A	80	80
	Fragilidad del sistema	Capacidad de retomar al equilibrio después de un fenómeno meteorológico	SA	60	60
		Capacidad de retomar al equilibrio ante crisis económicas	SE	60	60
		Capacidad de tomar decisiones ante la sobreexplotación de agua para la agricultura	A	20	20
		Capacidad de retomar al equilibrio ante la inseguridad	S	60	60
Adaptabilidad	Fortalecimiento del proceso de aprendizaje	Número de cursos o talleres de capacitación	SA	60	60
	Capacidad de cambio e innovación	Estacionalidad	SE	80	60
		Diversificación del producto turístico	S	80	60
		Organización con las otras cooperativas	S	60	60
Equidad	Calidad de vida	Nivel de satisfacción de los habitantes locales con el turismo	S	80	60
		Acceso al agua	SA	20	40
		Migración	S	100	60
	Distribución de costos y beneficios	Marginalidad de la población local por falta de acceso a los beneficios económicos	SE	60	40
		Distribución justa de beneficios intergeneracionalmente	SE	40	40
		Participación de las mujeres en la actividad turística	SE	40	20
Autodependencia (autogestión)	Participación	Participación de la comunidad	S	80	60
	Autosuficiencia	Dependencia a programas públicos	SE	40	80
		Dependencia de insumos y factores privados	SE	60	80
	Organización	Organización social entre los prestadores de servicios	S	80	60
		Control sobre el sistema y la toma de decisiones (económico, político)	SE	80	60
	Control	Uso de conocimientos y habilidades locales	S	60	60
		Poder de decisión sobre aspectos críticos del funcionamiento del sistema	S	80	60

Fuente: Elaboración propia. Áreas de evaluación: Ambiental (A), Económica (E), y Social (S), Socioeconómica (SE), Socio ambiental (SA), Económico-Ambiental (EA).

3. Resultados

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de la sustentabilidad en el turismo, en el área de estudio de las dos localidades ubicadas en el municipio de Aquismón, San Luis Potosí:



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la figura 2, se puede argumentar que el nivel de productividad a comparar entre La Morena y Tanchachín tiene rasgos muy evidentes que diferencian a una localidad de otra. Respecto a las oportunidades laborales, es más sustentable el ejido La Morena, ya que de cierta manera, la cooperativa ha permitido el ingreso de nuevos lancheros, incluso los jóvenes aprendices al cumplir la mayoría de edad deciden convertirse en guías de río, utilizando una lancha propia, esto permite que el ingreso se distribuya de una manera más equitativa en las familias dependientes de los lancheros de La Morena,



mientras que en Tanchachín no se permite el aprendizaje en jóvenes menores de edad. Respecto al ingreso promedio, existe una diferencia entre las localidades, ya que una de ellas es alimentada de turistas durante todo el año por las operadoras turísticas privadas (principalmente cuatro), mientras que en Tanchachín sólo tienen un socio comercial, forzando a los pobladores a buscar otro tipo de ingreso, o incluso migrar hacia la ciudad de Monterrey, Nuevo León, o hacia el extranjero, como es el caso de Estados Unidos.

En la figura 3 se puede observar que no hay diferencias considerables, esto se debe a que son localidades adjuntas, al margen del río Tampaón. Por tal motivo comparten un mismo ecosistema, misma temperatura, relativamente misma altura, y a su vez, los mismos fenómenos meteorológicos, lo que quiere decir que si le afecta a una comunidad le puede afectar a las comunidades aledañas. La diferencia radica en la diversidad de especies en la agricultura, ya que en el caso de Tanchachín el principal cultivo es la caña de azúcar, y en los predios particulares árboles frutales, como son el aguacate y el mango, mientras que en La Morena no son tierras aptas para la caña ni algún otro tipo de agricultura extensiva, predominando la vegetación arvense. Se desarrolla en pequeña escala la ganadería. En relación con la figura 4, se puede observar que en este caso si hay gran disparidad; esto debido a los problemas de organización entre la misma cooperativa, además de la falta de comunicación entre los operadores de Tanchachín y La Morena, originada de la competencia por obtener mayor demanda de turistas. Puede notarse la carencia de participación del género femenino en la toma de decisiones y en la fuerza de trabajo en el turismo, sumado a la problemática de escasez de agua potable en las viviendas, a pesar de ser localidades ribereñas, situación que ha reducido la calidad de vida de estas localidades, creando incluso conflictos entre las comunidades vecinas, disminuyendo la sustentabilidad de ambos. Otro rasgo importante de la calidad de vida es la migración, la cual ha sido casi erradicada de La Morena, gracias a la actividad turística. La fortaleza de Tanchachín nace de la autodependencia que ha tenido que desarrollar la cooperativa, ya que como argumenta un actor clave de la localidad, no han recibido el mismo apoyo del exterior como en el caso de La Morena, quienes han recibido recurso público para infraestructura, además de sus alianzas con operadoras privadas. Por ese motivo, la evaluación de la sustentabilidad en una forma comparativa, permitirá crear referencias empíricas que pueden ayudar en la toma de decisiones y en la creación de políticas públicas con el objetivo de conocer, explicar y valorar los resultados e impactos de las actividades en el turismo en las subcuencas de la Huasteca potosina.

4. Conclusiones y recomendaciones

Como es evidente, existen brechas en las tres dimensiones que limitan el desarrollo compatible con la sustentabilidad de las localidades estudiadas, resultado de los modelos de desarrollo antecedentes, sin embargo es importante destacar los esfuerzos realizados para alcanzar un desarrollo sustentable en la Huasteca potosina, sobre todo desde la visión del turismo sustentable (como es el caso del proyecto de Geoparque Unesco), buscando superar las crisis socioeconómicas y ambientales, resultado de malas decisiones políticas y la falta de inclusión social en la región. Retomar la temática del agua es imprescindible para el desarrollo de las comunidades rurales y de las grandes ciudades, ya que es incalculable el valor de los servicios ambientales en la Huasteca, tomando en cuenta que no puede analizarse sólo desde el enfoque físico-ambiental, ya que no se puede dejar de lado la importancia de los pueblos asentados en territorios rurales, lugares clave de la captura de agua para el resto de los ecosistemas y para la sociedad (Boege, 2008). Para ello se deben entender las dinámicas socioeconómicas de las comunidades, que permita construir un modelo organizativo comunitario que fortalezca el control local, que integre formas de aprovechamiento sustentable del agua y genere un proceso de aprendizaje colectivo (Ilsley *et. al*, 2008), mediante un liderazgo social fuerte, basado en la



participación ciudadana, así como coadyuvar con los responsables políticos (*policy makers*), para alcanzar los retos aún pendientes, que permitan a la Huasteca potosina constituirse en un destino consolidado como sustentable, respaldado por el marco internacional para la conservación, y la puesta en valor de los paisajes y formaciones geológicas que promueve la Unesco, transversal a las estrategias regionales de desarrollo socio-económico y cultural, que salvaguarden el medio ambiente.

Referencias

- Ariel de Vidas, Anath (2003). El trueno ya no vive aquí. Representación de la marginalidad y construcción de la identidad teenek (Huasteca veracruzana, México). México, D.F. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS): El Colegio de San Luis (COLSAN): Centro de Estudios Mexicanos y Centro Americanos (CEMCA): Institut de Recherche pour le Développement (IRD).
- Astier, Marta; Masera, Omar y Galván-Miyoshi, Yankuic (2008). Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. SEAE/ CIGA/ ECOSUR/ CIEco/ UNAM/ GIRA/ Mundiprensa/ Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable, España.
- Barthas, Brigitte (1996). De la selva al naranjal (transformaciones de la agricultura indígena en la Huasteca potosina). En: Bovin, Philippe (coord.), El campo mexicano: una modernización a marchas forzadas. México, D.F. Centro Francés de Estudios Mexicanos y Centroamericanos (CEMCA). Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM).
- Boege Schmidt, Eckart (2008). El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. México, D.F. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Cantoral Uriza, Enrique A. (2004). Diatomeas de ríos en la cuenca baja del río Pánuco, en: Ruvalcaba Mercado, Jesús; Pérez Zevallos, Juan Manuel y Herrera, Octavio (coord.), La Huasteca un recorrido por su diversidad. México, D.F. CIESAS: El Colegio de San Luis, A.C.: El Colegio de Tamaulipas.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2015). Estadísticas del agua en México. Edición 2015. México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua.
- Illsley G., Catarina; Gómez A., Tonantzin; Aguilar, Jasmín; Tlacotempa Z., Albino; Alarcón, Javier; Chana, Felipe; Díaz, Lucio; Flores L., Marcos; Morales M., Pilar; García B., Jorge y Flores M., Juana (2008). Aguacompartida para todos: una experiencia de gestión social del agua en el trópico seco de Guerrero, México, en: Luisa Paré, Dawn Robinson y Marco Antonio González (coord.), Gestión de cuencas y servicios ambientales. Perspectivas comunitarias y ciudadanas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). Instituto de Ecología (Ine).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Aquismón, San Luis Potosí. México. INEGI.
- Montejano, Gustavo (2004). Proyecto ficoflora de la Huasteca: avances y perspectivas, en: Ruvalcaba Mercado, Jesús; Pérez Zevallos, Juan Manuel y Herrera, Octavio (coord.), La Huasteca un recorrido por su diversidad. México, D.F. CIESAS: El Colegio de San Luis, A.C.: El Colegio de Tamaulipas.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2010). Directrices y criterios para Parques Nacionales interesados en recibir asistencia de la UNESCO para integrar la Red Mundial de Geoparques (GGN).UNESCO.
- Panosso Netto, Alexandre (2008). Filosofía del turismo. Teoría y epistemología. México, D.F. Trillas.



- Pereyra Díaz, Domitilo; Pérez Sesma, José Antonio y Salas Ortega, María del Rocío (2010). Hidrología. En: Enrique Flores Cano, Juan Ortiz Escamilla (coord.), Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. México. Gobierno del Estado de Veracruz. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. Universidad Veracruzana.
- Puig, Henri (1991). Vegetación de la Huasteca, México. Estudio fitogeográfico y ecológico. México, D.F. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM). Instituto de Ecología A.C. Centre D'Études Mexicaines Et Centraméricaines (CEMCA).
- Puig, Henri y Lacaze, Daniel (2004). Huasteca y biodiversidad, en: Ruvalcaba Mercado, Jesús; Pérez Zevallos, Juan Manuel y Herrera, Octavio (coord.), La Huasteca un recorrido por su diversidad. México, D.F. CIESAS: El Colegio de San Luis, A.C.: El Colegio de Tamaulipas.
- Ruvalcaba Mercado, Jesús (2004). La agricultura de roza en la Huasteca, ¿suicidio o tesoro colectivo?, en: Ruvalcaba Mercado, Jesús; Pérez Zevallos, Juan Manuel y Herrera, Octavio (coord.), La Huasteca un recorrido por su diversidad. México, D.F. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS): El Colegio de San Luis, A.C.: El Colegio de Tamaulipas.
- Rzedowski, Jerzy (1992). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Acta Botánica.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) (2014). Catálogo de localidades. Sistema de Apoyo para la Planeación del PDZP. Consultado en: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/Default.aspx>
- Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental (SEGAM) (2008). Plan de Ordenamiento Ecológico del Estado de San Luis Potosí. Diciembre 2008. San Luis Potosí, México. Agenda Ambiental. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Secretaría de Gobernación (2013). Programa especial de cambio climático 2014-2018 (PECC). Gobierno de la República.
- Stresser-Péan, Guy (2008). Viaje a la Huasteca con Guy Stresser-Péan. México, D.F. Fondo de Cultura Económica (FCE): Centro de Estudios Mexicanos y Centro Americanos (CEMCA).
- Toledo, Alejandro (2006). Agua, hombre y paisaje. México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE), Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS).
- Torres Carral, Guillermo (2009). El desarrollo sustentable en México: (visión crítica hacia un desarrollo compatible). México, D.F. Universidad Autónoma de Chapingo (UACh). Plaza y Valdés.



Extenso ID: 135. Jorge Alejandro Negrete Ramírez ^a, Mará de Los Ángeles Piñar Álvarez ^b, Udavi Cruz Márquez ^c. CONSTRUCCIÓN DE IDENTIDAD DE CUENCA Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA. EXPERIENCIAS DE INTERVENCIÓN EDUCATIVA EN CUATRO MUNICIPIOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LA ANTIGUA, VERACRUZ, COMO CASOS DE ESTUDIO.

[Regresar al índice](#)

^a SENDAS, AC, alejandro_negrete_r@yahoo.com.mx

^b El Colegio de Veracruz, angelespinaralvarez@gmail.com

^c SENDAS, AC, nandasamadhi@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados y reflexiones de un programa de intervención educativa con enfoque de Investigación Acción en torno a la construcción de identidad de cuenca en cuatro municipios de la región centro de Veracruz. Se parte de la premisa de que la participación ciudadana en torno a la gestión del territorio se logra en tanto dicha población se identifique como parte del territorio, y por ende, con derechos y obligaciones sobre éste.

El proyecto de intervención educativa ha apoyado y complementado las acciones de la asociación civil SENDAS, AC, la cual realiza desde hace diez años un proyecto para el desarrollo regional sustentable partiendo de la necesidad de una “gestión compartida de cuenca”. Se realizó un diagnóstico de percepciones territoriales a partir del cual se desarrollaron enfoques de intervención educativa y materiales didácticos diseñados especialmente para cada público meta: empresarios de turismo, la Parroquia de Xico, organizaciones de la sociedad civil y productores agropecuarios locales, buscando establecer sinergias entre ellos. Se pretende que los resultados de este programa educativo aporten elementos para avanzar hacia objetivos de conservación y buen manejo de recursos naturales de la cuenca en base a sinergias interactorales y participación ciudadana.

Palabras clave: educación ambiental, identidad territorial

1 INTRODUCCIÓN

En la lógica lineal de nuestro pensamiento moderno extraemos, usamos y desecharnos, sin considerar que la calidad de nuestra vida está estrechamente ligada a la salud de los ecosistemas. De ahí la pregunta ¿cómo nos volvemos a integrar en este tejido, cómo reconstruimos una visión donde seamos parte del ecosistema? Una percepción de nosotros mismos donde seamos conscientes del poder de impacto y transformación que tenemos como consumidores, de la importancia de nuestra participación en las decisiones institucionales de cómo se planifica el desarrollo, bajo qué esquemas se producen los alimentos, se obtiene agua, se genera energía, se manejan nuestros residuos...y finalmente, cómo transitamos hacia una mejor gestión de estos recursos en una unidad de gestión territorial desde la acción ciudadana coordinada.



En este sentido, la educación ambiental que emerge del contexto latinoamericano caracterizado históricamente por una distribución desigual del poder y la riqueza, tiene como un objetivo central fortalecer la participación ciudadana para la transformación estructural del modelo socioeconómico.

No se trata aquí de restar valor al conocimiento sobre ecosistemas y la interrelación de sus componentes como contenido esencial de la educación ambiental, sino enfatizar que los problemas ambientales son resultado de una mala gestión ambiental producto de una visión de desarrollo hegemónico, y donde el sujeto social se percibe rebasado y sometido a una realidad sobre la que no tiene poder alguno. Desde este enfoque, el papel de la educación ambiental cobra una justificada dimensión político-organizativa y gestora de sinergias intersectoriales para el bien común, apoyándose en la larga tradición pedagógica de la *educación popular* latinoamericana, definida por García y Leis (2011, pg. 239) como:

El proceso sistemático e intencionado de comprensión de la vida para transformarla conscientemente con base a la capacidad de organizarse en el marco de los necesarios cambios de sociedades y democracias. Es un conjunto de acciones articuladas sistemática y procesualmente, con el fin de comprender la vida de manera colectiva, para transformarla asociativamente.

A través de la educación formal e informal, se aprenden normas, símbolos, imágenes, discursos y conocimientos socialmente producidos, y en este proceso de culturización los habitantes de un territorio construyen una estructura social y cognitiva que les permite percibir, vivir, adaptarse y gestionar de manera particular su relación con el ambiente en el que viven y del cual forman parte. Las percepciones sobre la gestión del territorio son aprendidas, pero también dinámicas, pues constantemente la cultura se *deconstruye* y resignifica. Se vuelve pues, una tarea del educador socioambiental identificar y fomentar mecanismos para regular el uso y la administración de los recursos naturales comunes, fomentando y promoviendo acuerdos interactorales e intersectoriales, a partir de unidades comunes de gestión territorial que integren unidades de gestión tradicionalmente separadas, como el municipio o el ejido.

Identidad territorial de cuenca

De los recursos naturales el agua es uno de los que más interés social genera. Prácticamente está presente en todos los procesos productivos y en el imaginario social se reconoce su conservación y cuidado como prioritarios para la existencia de la vida. Históricamente, la gestión del agua en México ha tenido un enfoque centralizado, lineal y fragmentado (tratamiento y distribución), pero a partir de la década pasada se ha ido empezando a plantear y experimentar el enfoque del manejo integral de las cuencas hidrológicas (Cotler y Pineda, 2008).

El enfoque de manejo de cuencas es un proceso adaptativo que alinea, coordina y construye programas hacia objetivos comunes fomentando la participación de los involucrados en la planeación y gestión. Al hablar de gestión compartida o “cogestión” en el manejo integral de una cuenca, no sólo se está hablando del recurso hídrico y de las interrelaciones de ecosistemas donde se cosecha y absorbe, o de un enfoque que integre la planeación e impacto de los distintos usos humanos en la cuenca como un todo, sino de la participación de los grupos sociales que habitan el territorio de la cuenca, así como los actores externos que afectan las relaciones y actividades socioeconómicas dentro de este territorio (instituciones públicas, sector privado, marcos legislativos, etc).

Sin bien, como señala Cotler (2004) el manejo integrado de cuencas requiere la comprensión sistémica de las interacciones entre el medio físico, los modos de apropiación del territorio (considerando economía, tecnología, organización social) y las instituciones existentes, son sólo los especialistas los



que conocen estas características del territorio. La población en general solemos tener una comprensión limitada y fragmentada de nuestros territorios inmediatos, y aún, el concepto de cuenca como unidad de gestión es ajena a nuestro imaginario social. ¿Cómo podemos pues propiciar la participación de la población en la gestión de la cuenca si no sabemos que tenemos responsabilidad y derechos sobre ésta? Generalmente no sabemos a qué cuenca pertenecemos, ni con qué otras unidades de gestión administrativas (municipios, ejidos, estados) estamos vinculados a través del recurso agua o las laderas de la cuenca.

Partimos de la premisa central de que una persona se siente con responsabilidad o injerencia en el manejo de un asunto o un bien, si se identifica como parte de ese objeto o que al menos, tiene derechos y obligaciones sobre ese objeto o sujeto.

La construcción de identidad territorial implica que los sujetos o grupo definan los criterios de pertenencia a un territorio determinado. Estos criterios se determinan bajo intereses políticos que implican definir cuáles son las formas de concepción, de uso y de apropiación de los recursos del territorio legitimados socialmente (Rincón, 2011). Esto es, definir límites espaciales, territorios y territorialidades. En tal proceso interactúan los actores involucrados en un territorio y que están interesados en la legitimación o des-legitimación de ciertas prácticas de apropiación de recursos: el estado, los sujetos que viven en el territorio, las instituciones de diferente carácter, las empresas de capital, la academia, los activistas, las organizaciones sociales, etc.

Estos procesos también están en constante dinámica de cambio. Aunque hay límites e identidades definidas por tradición, como la pertenencia a un estado, municipio o la misma identidad nacional, éstas pasaron por procesos históricos de impulso político hasta la apropiación y legitimación social. Podemos mencionar como ejemplo, la construcción de la noción de patria, o mexicanidad en el periodo la posrevolución mexicana, donde el estado dio énfasis al mestizaje como rasgo de orgullo y distintivo de lo mexicano. Los grandes murales, los libros de texto y todo el aparato estatal de cultura se volcó a la legitimación de lo mestizo como lo auténtico.

Hasta aquí hemos expuesto la necesidad y viabilidad de promover procesos de gestión participativa de los recursos naturales desde un enfoque territorial de cuenca, pero como justificación al planteamiento de este trabajo es imprescindible subrayar que la cuenca como unidad de gestión territorial no es reconocida culturalmente pues se encima a unidades de gestión más legitimadas, como el municipio, ejido o unidades de gestión funcionales como la región económica. Sin embargo, la educación ambiental crítica y la educación popular ofrecen sólidos fundamentos teóricos y metodológicos para promover la identidad territorial de cuenca, partiendo de un aprendizaje social donde los actores comparten y adquieren nueva información y reconocen intereses comunes con otros involucrados y, como resultado, ensanchan el entendimiento de su sistema socioeconómico y natural reconociendo las interdependencias y necesidades de acción coordinada.

La investigación acción

Para alcanzar el objetivo central del programa educativo: promover la integración de diversos sectores sociales para la gestión compartida del territorio, nos apoyamos en la metodología de la Investigación-acción (IA). Este enfoque de investigación fue planteado por Fals-Borda a principio de los 70's en el campo de la intervención psicosocial. Está basado en la inserción del investigador en la comunidad para el análisis de las condiciones socioeconómicas, históricas, etnográficas, y del nivel de conciencia y participación de los miembros de la comunidad en las estructuras y organizaciones locales, enfatizando la utilidad de la investigación en la solución de problemas prácticos y el compromiso con el grupo o comunidad (Balcazar, 2003). Dado que el fin último de este enfoque es la transformación de la realidad social a través del incremento de información, concienciación, capacidad organizativa y



distribución simétrica del poder, nos resulta perfectamente complementario y sinérgico con los objetivos de los proyectos de intervención en estas subcuencas donde trabajamos.

2 CONTEXTO Y ENFOQUE DE CUENCA

Esta experiencia educativa se desarrolla en los municipios de Xalapa, Coatepec, Tlalnelhuayocan y Xico, en dos subcuencas estratégicas por ser abastecedoras de agua a más de medio millón de habitantes. Las subcuencas de los Ríos Pixquiac y Texolo-Huehuyapan son parte de la cuenca alta del Río La Antigua, Estado de Veracruz, la cual forma parte de la vertiente oriental de la cordillera Cofre de Perote-Pico de Orizaba. Va de los 4,282 metros en la cima del Cofre de Perote hasta los 600 metros en el punto más bajo, en los municipios de Coatepec y Teocelo. Este gradiente altitudinal combinado con los vientos húmedos que vienen del Golfo de México, provocan en esta ladera del Cofre una alta humedad y temperaturas templadas con lluvias casi todo el año. Estas condiciones son ideales para el bosque mesófilo de montaña, ecosistema predominante en esta región con el 19%. Los bosques de pino-encino ocupan el 13%, la selva baja caducifolia y la pradera de alta montaña ocupan el 1% de la superficie total (Mokondoko, 2010). Las áreas de pastos de ganadería el 21% y cultivos de temporal el 9%, las plantaciones de café bajo sombra y los cultivos de caña de azúcar, ocupan el 12 y 8% respectivamente, y las áreas urbanas ocupan el 5.9% de la superficie total de la cuenca (Muñoz-Villers, 2008).

Por su gran riqueza hídrica en esta cuenca se encuentran lugares que ofrecen diversos atractivos turísticos y de aventura, entre los más destacados está el Rafting a lo largo del Río de Los Pescados, especialmente importante para la economía de Jalcomulco. En el Municipio de Coatepec se localizan las largas caídas de agua de los ríos Pixquiac y Huehuyapan, así como la cascada Bola de Oro, la cascada La Granada, y su Reserva Ecológica con el mismo nombre. La Cascada Chopantla, el Balneario Agua Alegre, y uno de los más importantes atractivos en la región Xalapa: la cascada de Xico (mejor conocida como Texolo), además reconocida como Área Natural Protegida bajo la categoría de Sitio Ramsar (SEGOB, 2012).

De las 580 mil personas que abastece de agua la Cuenca Alta del Río la Antigua, el 72% se concentra en las ciudades de Xalapa, Coatepec, Xico y Teocelo. A esta dependencia directa de la población con la cuenca por la cosecha de agua que se genera en sus laderas y que se retiene por el servicio ambiental que prestan sus bosques, hay añadir los servicios paisajísticos y de recreación que hacen posible la actividad turística de naturaleza y aventura, además de que la humedad y clima que los bosques proporcionan favorecen la cafecultura, otra de las actividades económicas más relevantes de la región (Mokondoko, 2012).

Según datos que reporta Mokondoko (2012) al menos el 30% del territorio de la cuenca alta está cubierto de bosque de niebla y cafetales, generando un corredor biocultural con características culturales compartidas en los municipios de Xalapa, Coatepec, Xico, Teocelo e Ixhuacán de Los Reyes. Especialmente en la actividad turística, estos municipios se caracterizan por su oferta paisajística (bosques, cascadas, ríos, observación de aves), de café de alta calidad y de fiestas religiosas.

El turismo que existe en la región Xalapa es por interdependiente de estas ofertas, pues turistas vienen a Xalapa a hacer trámites administrativos o por temas de salud, y se quedan a visitar los lugares aledaños: tomar café en Coatepec, pasar a comprar pan a Xico o visitar algún río de Teocelo.

Sin embargo, estos bosques y ecosistemas reciben una fuerte presión por la expansión de la mancha urbana y las actividades productivas, debido en gran parte a su subvaloración económica. El mal manejo y cambio de uso de suelo tienen efectos negativos en la cantidad y calidad del agua disponible,



así como la amenaza sobre los bosques y los ecosistemas. En este sentido, se torna imprescindible identificar e implementar mecanismos de transición hacia la sustentabilidad de las políticas de desarrollo a nivel regional.

3 PÚBLICO DESTINATARIO, METODOLOGÍA Y RESULTADOS

La subcuenca del Río Pixquiac

Desde el año 2005 y hasta la fecha, SENDAS AC / UNAM, han estado desarrollando en esta subcuenca el proyecto “Cogestión integral de la cuenca del Río Pixquiac”, procurando involucrar a la ciudad de Xalapa, quien toma el 38% de su agua de esta subcuenca. Uno de los principales intereses de este proyecto es de buscar alternativas para revertir los procesos de deterioro que afectan a la cuenca, trabajando en conjunto con los dueños de la tierra, instituciones de investigación, autoridades municipales y federales. A partir de este trabajo ha sido posible la creación de diferentes espacios para reflexión y toma de decisiones procurando la participación activa de los actores locales dueños de predios y ciudadanos usuarios de los servicios ambientales de esta cuenca (Pare y Gerez, 2011).

En marzo del 2011, como parte de la “Estrategia de Educación Ambiental para la Cuenca del Río Pixquiac” diseñada por uno de los autores de este artículo, se realizó un sondeo de percepción con un total de 99 encuestas aplicadas a: 52 líderes de opinión de la cuenca (25 se aplicaron en la zona rural y 27 en la zona semiurbana), y 47 encuestas aplicadas a mujeres del ámbito rural que participaban en alguno de los proyectos que Sendas promovió para mujeres (estufas ahorradoras y floricultura). Los objetivos de la encuesta fueron:

- a) Identificar cuáles son los problemas ambientales principales que percibe la población que habita la cuenca y cómo los jerarquiza.
- b) Sondear si hay claridad sobre el concepto de cuenca como unidad territorial para la gestión de recursos y si se identifican sus habitantes como parte de esta.
- c) Reconocer cuáles son las ideas centrales en torno a la problemática del agua y del bosque.

Como resultado del objetivo b) *nociones y pertenencia a la cuenca como unidad de gestión*, los resultados reportan que en la zona rural dos terceras partes de los encuestados dijeron no saber a qué cuenca pertenecían o confundieron cuenca con municipio, y sólo el 28% se identificó como parte de la cuenca del Río Pixquiac. En la zona semiurbana, el 85% no supo a qué cuenca pertenece, y sólo el 15% dijo que al Pixquiac.

Cabe destacar que la mayoría de quienes se identificaron como parte de la cuenca del Pixquiac fueron agentes de cambio social que han tenido participación con el proyecto de Sendas, o eran parte de instituciones u organizaciones con un nivel alto de información.

Al momento de hacer este diagnóstico se concluyó que la mayor parte de la población:

- no pudo definir qué es una cuenca,
- relaciona el concepto de cuenca con cuerpos de agua, pero no con territorio
- desconoce que pertenece a la subcuenca del Pixquiac, o la cuenca del Río La Antigua.

Las subcuencas Texolo-Huehueyapan

A partir del 2014, Sendas en colaboración con El Colegio de Veracruz (COLVER) han estado promoviendo acciones en el Municipio de Xico encaminadas a la promoción de criterios de sustentabilidad y esquemas de manejo integral y participativo de las subcuencas Texolo-Huehueyapan.



En una primera fase se trabajó principalmente con empresarios del sector turístico, y solicitamos a la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) asesoría y recursos para el impulso del corredor de turismo sustentable. A partir del 2016 se consolidaron alianzas con SECTUR Estatal para que en los municipios de Xalapa, Perote, Xico, Coatepec y Teocelo se promuevan mecanismos de regulación para las actividades del sector turístico orientándolas hacia la sustentabilidad. Este es un paso imprescindible para la certificación regional en turismo sustentable, donde esperamos, por el interés que han mostrado los empresarios de turismo y autoridades municipales, que Xico lidere este proceso.

A partir del 2015 Sendas obtuvo recursos del Fondo Golfo para implementar un proyecto de manejo participativo de la cuenca que abastece de agua la población de Xico, bajo dos grandes metas: 1) promover prácticas sustentables de manejo forestal, de actividades agrosilvopastoriles y de conservación de la biodiversidad, 2) propiciar la participación ciudadana en torno la cogestión de la subcuenca Texolo-Huehueyapan.

Lograr la “gestión participativa” o “co-gestión de cuenca” depende, no sólo de implementar prácticas productivas sustentables, sino de generar un interés social por el entendimiento de las dinámicas socioambientales de la cuenca e identificar nichos de participación ciudadana para decidir sobre los enfoques de desarrollo locales, tanto en las áreas rurales como las urbanas. Para dar pasos hacia el logro de este componente se realizaron actividades de comunicación ambiental, enfatizando la importancia de la participación ciudadana informada en la gestión del territorio. Las escalas de impacto en la región se da en múltiples escalas, desde las prácticas productivas de los dueños de las parcelas, las decisiones de asamblea de ejidos que afectan el manejo de áreas del territorio más grandes, las elecciones de los tipos de programas de desarrollo que impulsa o acepta el municipio, hasta los programas de desarrollo que se diseñan en la capital del estado o a nivel federal. Considerando esto, y el pequeño equipo para desarrollar esta línea, se analizó desde un enfoque estratégico, dónde invertir estos recursos humanos y materiales para influir en los actores sociales que representaran la mejor inversión por su escala de influencia en la región.

Bajo esta lógica, se identificaron como destinatarios a tres actores estratégicos: 1) organizaciones sociales con presencia en cabecera municipal, incluyendo actores o grupos sociales estratégicos de municipios aledaños que se encuentren dentro de la Cuenca Alta del Río La Antigua, 2) la Parroquia de Xico, 3) el sector de prestadores de servicios turísticos, y 3) población en general, con énfasis en jóvenes y niños.

En el periodo comprendido entre el 1º de octubre de 2015 al 14 enero de 2016 se realizaron 14 acciones de socialización de información y aprendizaje colectivo sobre el enfoque de cuenca, buscando la articulación intersectorial y sentar bases para la gestión participativa y sustentable del territorio.

- Se estableció con pobladores de las zonas rurales una línea base sobre percepciones sociales sobre la cuenca y las problemáticas socioambientales, reportando como resultado que hay una gran sensibilidad ambiental de los encuestados, y clara conciencia del impacto de malas prácticas ganaderas y agrícolas en la productividad agropecuaria y pérdida o disminución de recursos como el agua, sin embargo no hay una noción sobre lo que es la cuenca hidrológica como unidad de gestión.
- Para transmitir, enriquecer y reflexionar colectivamente sobre información básica de las subcuencas, se dieron pláticas en tres talleres, un foro y un evento de intercambio de experiencias, llegando con esta información a un total de 139 personas adultas de 9 localidades del Municipio de Xico.
- Se promovieron espacios y plataformas de intercambio de conocimiento sobre la región y búsqueda de vinculaciones intersectoriales, para lo cual se impulsó establecer agendas comunes con OSC locales y regionales, acciones que derivaron en la creación de la Coalición



de Organizaciones de la Bioregión Jamapa Antigua (COBIJA). Así mismo se promovió el enfoque de desarrollo sustentable en el sector turístico del municipio a través de la promoción del Proyecto Primer Eje de Turismo Sustentable-CESMO (Corredor ecológico Sierra Madre Oriental), de carácter intersectorial e intermunicipal asesorado por la Agencia Alemana de Cooperación.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como resultado del diagnóstico se recomendó como línea estratégica de comunicación y educación ambiental, el construir en los habitantes la identidad de pertenecía a la cuenca (mediante maquetas y gráficos tridimensionales de la cuenca del Río La Antigua) y aclarar el concepto de cuenca en torno a una unidad de gestión. Concluimos que si no conocen el concepto de cuenca no la podrán identificar como unidad de gestión, y mucho menos sentirse legitimados para buscar espacios de participación para la gestión de la cuenca.

Xico y Coatepec, por su larga y rica tradición turística han sido catalogados como Pueblo Mágico desde el año 2011. Casi toda la región que abarca la cuenca alta del Río La Antigua posee una vasta riqueza cultural y belleza paisajística. La franja de bosque de niebla y cultivo de café de sombra que va de Coatepec hasta Ixhuacán de Los Reyes, más las importantes fiestas culturales-religiosas de la región la han hecho potencialmente atractiva para el turismo, pero también para el crecimiento urbano caótico, las malas prácticas productivas y como consecuencia la erosión de las laderas y contaminación de suelos y aguas. La gestión institucional en esta región repite el mismo esquema fragmentado, y algunas veces contradictorio del resto del país.

Buscando propuestas que contrarresten esta situación, en el sentido del fortalecimiento de las capacidades locales, la construcción de acuerdos y consensos, consideramos imprescindible superar las diferencias ideológicas o conceptuales con otros actores sociales locales, para construir un “Proyecto” y no de pequeños proyectos que dispersan el impacto en la región. Este “proyecto” proponemos sea de manejo sustentable del territorio y con enfoque de cuenca, y puede muy bien ser liderado por el sector turístico, pero transmunicipal y transectorial. En el caso del turismo es viable si integra todo el cluster turístico, desde proveedores de insumos y productos orgánicos locales hasta proveedores de servicios culturales y alternativos.

El recurso agua tiene un gran potencial organizativo porque es un elemento que vincula a diversas comunidades en un espacio determinado. El enfoque de cuenca hidrosocial atiende aspectos de paisaje, manejo adecuado y conservación de recursos, organización y participación comunitaria, gobernanza y empoderamiento social, que consideramos muy afines y una forma aterrizada de poner en práctica los principios de turismo sustentable.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo institucional de El Colegio de Veracruz, la Secretaría de Turismo del Estado de Veracruz SECTUR, la Agencia Alemana de Cooperación (GIZ) y el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), para la realización y financiación de gran parte de estas actividades.



6. LITERATURA CITADA

- Balcazar, F. (2003) *La investigación acción participativa: fundamentos teóricos y conceptuales*. Revista Fundamentos en humanidades. Año IV-No I/II, pg. 59-77. Universidad Nacional de San Luis: México
- Cotler, H. (2004). *El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. México: INE.
- Cotler H. y Pineda R. (2008). Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos?.
- En: *Boletín del Archivo Histórico del Agua* 13(31): 16-21 .
- García, H. y Leis, R. (2011). *Educación ambiental y desarrollo local*, en Reyes y Castro: *Contornos educativos de la sustentabilidad*. México: Universidad de Guadalajara.
- Rincón L. (2011). *La construcción de la identidad territorial de los nyc en Santa Cruz Patagonia austral argentina*. Revista Anuario americanista europeo, 2221-3872, N° 9, pp. 69-86
- SEGOB (2012). Diario Oficial de la Federación (03/01/2012). Disponible en http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5227830&fecha=03/01/2012
- Mokondoko P. (2010). Estudio de las relaciones entre cambio de uso de suelo, calidad del agua y salud pública, para valoración de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca alta del Río la Antigua, Veracruz. Tesis de maestría en ciencias. Coatepec, México: Instituto de Ecología, AC
- Muñoz- Villers, L.E. (2008). *Efecto del cambio en el uso del suelo sobre la dinámica hidrológica y calidad de agua en el trópico húmedo del centro de Veracruz, México*. Tesis Doctoral. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Pare L. y Gerez F. P. (2011). *Al filo del agua. Cogestión de la subcuenca del Río Pixquiac, Veracruz*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.



Extenso ID: 224. Blanca Elizabeth Cortina Julio y Enrique Portilla Ochoa. EDUCACIÓN Y PLANEACIÓN PARTICIPATIVA PARA EL MANEJO SUSTENTABLE EN COMUNIDADES RIBEREÑAS DEL SISTEMA LAGUNAR DE ALVARADO, VERACRUZ.

[Regresar al índice](#)

Instituto de Investigaciones Biológicas, Área Biología de la Conservación, Universidad Veracruzana
Dr. Luis Castelazo Ayala s/n A. P. 294. C.P. 91000 Col. Industrial Animas Km 2.5 Carretera Xalapa-Veracruz.

Tel: (228) 8 41 89 00 ext. 13408 E-mail: bcortina@uv.mx

El Complejo lagunar de Alvarado es uno de los humedales costeros más representativos del estado de Veracruz, no únicamente por su riqueza biológica y su gran potencial productivo, sino también por su arraigada tradición cultural cuyo eje central es la actividad pesquera. Sin embargo, la inadecuada implementación de políticas de desarrollo hacia la zona ha provocado serios problemas en el sostenimiento a largo plazo de sus recursos naturales. Tal es el caso de las pesquerías, que muestran una tendencia a la baja debido a la sobre-explotación de especies, el uso de artes de pesca prohibidas y el incremento de individuos dedicados a esta actividad sin una buena organización para el trabajo. Otro caso relevante es el manglar que pese a estar sujeto a protección especial ha visto reducida su superficie debido a cambios en el uso del suelo para el establecimiento de pastizales y a una constante tala clandestina. Esto, en detrimento de los servicios ambientales que estos bosques ofrecen a la región.

En Febrero de 2004 el Sistema Lagunar de Alvarado fue declarado Humedal de Importancia Internacional (Sitio Ramsar 1355) a propuesta del Instituto de Investigaciones Biológicas de la Universidad Veracruzana (UV). Y desde 1998 se inician una serie de trabajos orientados a la conservación y manejo de los recursos naturales del Complejo o Sistema Lagunar de Alvarado. El proyecto “Conservación y manejo sustentable en unidades de paisaje del humedal de Alvarado, Veracruz, México (Portilla-Ochoa & Silva- López, 1998) estuvo enfocado a realizar el monitoreo de las aves acuáticas migratoria, una evaluación de los usos del manglar así como de cultivos de peces realizados por cooperativas pesqueras ribereñas. Este trabajo ya incluye un componente de capacitación técnica para los pescadores y de educación ambiental dirigido a los hijos de pescadores. Las acciones de fortalecimiento son (1) la capacitación para la producción y el trabajo cooperativo, (2) el fortalecimiento de los saberes locales y la percepción ambiental para la conservación de la riqueza biológica y cultural, y (3) el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades ribereñas mediante la promoción de un programa de alfabetización desde una perspectiva ambiental. El componente capacitación y educación aparece como una de las estrategias a seguir para lograr la conservación de la riqueza biológica del humedal de Alvarado. Esta estrategia se basa en el fortalecimiento de las capacidades locales para la producción y el trabajo cooperativo, el fortalecimiento de los saberes locales y la percepción ambiental para la conservación de la riqueza biológica y cultural y el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades ribereñas mediante la promoción de un programa de alfabetización desde una perspectiva ambiental.

Descripción General del SLA

El Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) es uno de los humedales más representativos del estado de Veracruz, no únicamente por su riqueza biológica y su gran potencial productivo, sino también por su arraigada tradición cultural, cuyo eje central es la actividad pesquera. Esta gran planicie de inundación



se localiza en la zona costera central del Estado de Veracruz abarcando los municipios de Alvarado, Tlalixcoyan, Ignacio de la Llave, Acula, Tlacotalpan e Ixmatlahuacan.

El SLA se encuentra en la región sudeste de Veracruz, formando parte del Sistema Hidrológico Cuenca del Río Papaloapan y Río Blanco. El río Papaloapan tiene la particularidad de vencer siempre las barreras provocadas por la marea y tener un balance positivo de gasto: el río siempre aporta agua a la laguna, en un promedio diario aproximado de 40 millones de metros cúbicos (Contreras, 1993).

El SLA está inmerso en la sub-región natural Planicie Costera del Golfo de México. Comprende una amplia llanura con elevaciones que no sobrepasan los 50 m sobre el nivel del mar y presenta una red de lagunas conectadas por ríos y canales (Contreras y Castañeda, 1995). El SLA es un sistema lagunar-estuarino compuesto por lagunas costeras salobres, destacándose las lagunas de Alvarado, Buen País y Camaronera, más de 200 lagunas interiores, como Tlalixcoyan y las Pintas, y varios ríos, destacándose, los ríos Papaloapan, Acula, Blanco y Limón. Se localiza entre las coordenadas 18° 53' 00'' y 18° 25' 00'' de latitud Norte y 95°34' 00'' y 96° 08' 00'' de longitud Oeste con altitudes de entre 0 a 10 m.s.n.m. y una superficie de 267,010 hectáreas. La localidad importante más cercana es el Puerto de Veracruz a 70 Km. Al noroeste (Portilla-Ochoa et al., 2005).

El SLA forma parte de la región hidrológica de la cuenca del Papaloapan, su caudal ocupa el séptimo lugar mundial y junto con el Río Coatzacoalcos, representa el 30% del escurrimiento fluvial del país y es el segundo sistema fluvial más importante después del sistema Grijalva-Usumacinta.

En esta cuenca se descarga anualmente 42,884 millones de metros cúbicos al mar. Ocupa el 41.11% del total de la superficie territorial estatal (28,636 km²). Así, corresponde al 39.32% del total de las regiones. Su principal ecosistema estuarino es la Laguna de Alvarado, que corresponde a la superficie de inundación costera más grande, pero también incluye otras lagunas de diversas magnitudes e importancia (Moreno-Casasola, et al., 2002).

Importancia Histórica y Cultural

La cuenca baja del Papaloapan forma parte de una región llamada Llanuras de Sotavento que, sugerido por el trabajo del historiador Gonzalo Aguirre Beltrán, se asienta la primera civilización en vivir en humedales en México (los Toltecas y Nahuas). Esta región fue identificada por nuestros antepasados indígenas como el lugar donde se ubica el Tlalocan, paraíso terrenal fuente inagotable de satisfactores. La dinámica de ocupación de estas tierras en tiempos prehispánicos implicó la existencia de un abigarrado mosaico étnico sobre el cual vinieron a establecerse los europeos, españoles y africanos, lo que ha derivado en una zona de gran mestizaje. La importancia actual de la pesca en Alvarado, no es solo generadora de ingresos, empleo y alimentos, sino que es sobre todo, una actividad fundacional y civilizadora definiendo una cultura propia: la de los pescadores.

Fortalecimiento de las capacidades locales.

Las acciones de fortalecimiento son: 1) el fortalecimiento de los saberes locales y la percepción ambiental para la conservación de la riqueza biológica y cultural del humedal de Alvarado; 2) el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades ribereñas mediante la promoción de un programa de alfabetización para adultos y asesoría jurídica; y 3) la capacitación para la producción y el trabajo cooperativo. **Manejo integrado de recursos naturales.** Esta estrategia se sustenta en la pesca ribereña, principal actividad productiva regional, promoviendo el manejo y el trabajo cooperativo como alternativa a la pesca de tipo extractivo y de pescadores libres. Otros recursos estudiados son los usos del manglar, y de especies carismáticas como aves acuáticas migratorias y manatíes que apoyen un programa de ecoturismo. **Protección y conservación de la biodiversidad del manglar.** Se basa en el ordenamiento ecológico y la zonificación de las áreas de manglar, lo que permite definir zonas de restauración, protección, aprovechamiento sustentable y de regeneración natural.

El éxito de estas estrategias tiene un soporte eminentemente social y se sustenta en la hipótesis de que únicamente con la **participación local** es posible la **conservación de los recursos naturales** de los humedales veracruzanos.

En este sentido, la participación local clave está en las cooperativas pesqueras ribereñas. La pesca ribereña muestra una tendencia a la baja debido a la sobre-explotación de especies, el uso de artes de



pesca prohibidas, el incremento de individuos dedicados a esta actividad sin una buena organización para el trabajo, e incluso cambios en la hidrología de los cuerpos de agua que se manifiestan en el abatimiento de los niveles de salinidad y las modificaciones en el flujo y reflujo del agua. Al respecto, se han detectado algunos aspectos relevantes para poder implementar medidas que permitan acercarnos a soluciones sustentables en el manejo de los recursos pesqueros ribereños. Los problemas de las cooperativas pesqueras ribereñas se derivan de la falta de organización y capacitación, más que de aspectos técnicos. La sobreexplotación de los recursos pesqueros derivada del uso de artes de pesca prohibidos, está relacionada con la falta de organización y la mala aplicación de la ley en materia pesquera y ambiental. Existe una larga tradición pesquera basada en el pescador libre más que en la pesca organizada en cooperativas y con una clara desigualdad en la participación de las mujeres. Es necesario promover una mayor participación de las mujeres pescadoras en la toma de decisiones sobre las actividades productivas y en el manejo de sus recursos.

Bajo este supuesto se empezó a trabajar con los grupos productivos del proyecto, llevado a cabo por el Instituto de Investigaciones Biológicas de la Universidad Veracruzana.

Los objetivos logrados fueron los siguientes.

- **Establecimiento de una Unidad Productiva en el semi-cultivo de la mojarra tilapia Pargo Cerezo.**
- **Generar fuentes de empleo para las mujeres pescadoras.**
- **Crear talleres de capacitación continua en todo tipo de temas para elevar su acervo cultural y difundirlo dentro del humedal.**
- **Ser gestoras de estas unidades productivas dentro del humedal.**
- **Proteger los recursos pesqueros respetando las vedas, no uso de artes prohibidas, no realizar el arrastre, etc.**
- **Realizar actividades de restauración mediante la reforestación de áreas desbastadas.**
- **Ser integrantes de la federación de cooperativas pesqueras de pesca ribereña, para dar a conocer sus ideas de conservación, buen manejo de los recursos pesqueros y buscar la posibilidad de ponerlas en práctica.**

Desde el 2003 el Instituto de Investigaciones Biológicas de la Universidad Veracruzana también inicia la gestión para establecer un área de protección y rehabilitación para el manatí (especie considerada en peligro de extinción). En 1999 y hasta la fecha el IIB-UV en coordinación con el Mtro. Enrique Portilla Ochoa y la Biol. Blanca E. Cortina establecieron un Programa de conservación del Manatí en el Humedal de Alvarado, así como una campaña de protección en donde el manatí se considera especie bandera lo cual ha permitido por más de nueve años proteger el hábitat natural de esta especie.

Después de 10 años de trabajo en la conservación, protección, educación ambiental, los expertos en manatí a nivel nacional e internacional consideran que Alvarado es un lugar importante para establecer un área de reincorporación y protección para manatíes y consideran que el grupo local para la conservación del manatí es un ejemplo para todo el país.

La metodología brinda herramientas de organización a grupos con intereses comunes a través de talleres participativos y dinámicos de motivación grupal, donde la participación de los integrantes del grupo productivo es esencial. El equipo de organización funciona como facilitador del proceso, con una presencia más frecuente y directa en las primeras etapas. Posteriormente, en las etapas de mediano plazo funciona como animador y a largo plazo realiza evaluaciones para detectar malfuncionamientos. Así, los grupos deben aprender a conducirse, ejecutar y evaluar su trabajo por sí mismos.



Bibliografía

- Contreras Espinosa F. 1993. Ecosistemas Costeros Mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la biodiversidad. UAM, Unidad Iztapalapa. México. 415 p.
- Contreras E. y Castañeda L. 1995. Los Ecosistemas Costeros del Estado de Veracruz. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero. Gobierno del Estado. Veracruz, México.
- Franco-López, J. R. Chávez-López. E. Peláez-Rodríguez y C. M. Bedia-Sanchez. 1996. Riqueza Iciofaunistica del Sistema lagunar de Alvarado, Veracruz. Revista Zoológica (2): 17-32
- González-Martínez J. 2004. Alvarado y el mundo del agua. Estudios. Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. México. 351pp.
- Moreno-Casasola, P., J. Rojas-Galaviz, D. Zarate-Lomeli, M. Ortiz-Pérez, A. Lara-Domínguez y T. Saavedra-Vázquez. 2002. Diagnostico de los manglares de Veracruz: distribución, vinculo con los recursos pesqueros y su problemática. Revista Maderas y Bosques (Número especial) 61-88pp.
- Portilla-Ochoa, E., G. Silva-López., A. Sánchez-Hernández. O. Cruz. J. Barr. D. Saucedo-Rodriguez. A. Juárez-Eusebio. A. Perez-Bello. A. Cortés-Balderas. C. Flores-Romero. L. Tiburcio-Palacios. C. Herrera García. F. Galán-Amaro y C. García-Hernández. 1998. Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Naturales en Unidades de Paisaje del Humedal de Alvarado, Veracruz, México. Parte 2. Informe Técnico. Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana. 161pp.
- Portilla-Ochoa, E., A. Sánchez-Hernández y A. Juárez-Eusebio 2002. Conservación de la Biodiversidad y Manejo de Recursos Naturales en Humedales Costeros de Veracruz: El Caso de Alvarado. En: Manzo-Denes J. (Eds.). Neuroetología La Década Del Cerebro y La Conducta Animal, pp 387-406. Instituto de Neuroetología, Universidad Veracruzana.
- Portilla-Ochoa, E., A. Sánchez-Hernández., F. Galán-Amaro y C. García-Hernández. 2002. Diagnostico de la Situación Actual (Período 1998-2001) de los Manglares del Humedal de Alvarado, Veracruz. Informe Técnico. Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana.
- Portilla-Ochoa, E., A. Sánchez-Hernández. A. Juárez-Eusebio. R. Gutiérrez-García. J. Montejo-Díaz. B. Cortina-Julio. 2005. Establecimiento de Unidades de Gestión Ambiental en el Humedal de Alvarado, Veracruz, México: Bases para su Ordenamiento Ecológico y Social. Informe Técnico. Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana. 167 pp.



Extenso ID: 105. Rosalinda Uribe Visoso¹, Rita Vázquez del Mercado Arribas², Roberto Romero Pérez³. EDUCACIÓN Y CULTURA AMBIENTAL PARA IMPULSAR UNA GESTIÓN SOSTENIBLE EN LA MICROCUENCA LA VENTA

[Regresar al índice](#)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, 62550, Jiutepec, Morelos, México
ruribe@tlaloc.imta.mx, rvazquez@tlaloc.imta.mx romero@tlaloc.imta.mx

RESUMEN

En este trabajo se documentan los avances del proyecto Intercambio de Experiencias México–Brasil: Proyecto Piloto Copalita-Paraná, que se lleva a cabo en la microcuenca de La Venta, perteneciente a la cuenca del río Copalita, Oaxaca, la cual presenta impacto ambiental por actividades humanas.

El objetivo general del proyecto es intercambiar experiencias entre la cuenca del río Copalita –cuyo Comité de Cuenca ha venido implementando acciones basadas en un Plan Rector para el Desarrollo Rural Sustentable–, y la cuenca del río Paraná –que lleva a cabo acciones de gestión participativa del agua a través del programa “Cultivando Agua Buena”, que promueve la empresa hidroeléctrica Itaipú Binacional–.

A la fecha se han realizado las siguientes acciones: 1) Integración de un Equipo Líder para coordinar y dar seguimiento al proyecto; 2) Integración de Comités Gestores Municipales para contribuir a la planeación y ejecución de las acciones en la microcuenca. En este punto se realizó un proceso de identificación y sensibilización de los principales actores sociales e institucionales de los Municipios de San Andrés Paxtlán y San Mateo Río Hondo; 3) Desarrollo y fortalecimiento de competencias en materia de educación y cultura ambiental para la sostenibilidad, a implementarse por una red de educadores con actuación permanente en la región; 4) Preparación y convocatoria a “Talleres del Futuro”, que permitan involucrar a los habitantes en la planeación y puesta en marcha de acciones; 5) Visita de una delegación brasileña a la microcuenca de La Venta y visita de una delegación mexicana a la cuenca del río Paraná, para iniciar colaboración y acciones conjuntas.

Palabras clave: Desarrollo Rural Sustentable, Formación de facilitadores.

1 INTRODUCCIÓN

El programa Cultivando Água Boa (Cultivando Agua Buena)¹, iniciado por la empresa hidroeléctrica Itaipú Binacional, fue establecido en 2003 y abarca 20 programas y 65 proyectos/acciones que se desarrollan en el área de influencia del lado brasileño de la Cuenca Hidrográfica del Río Paraná³, una región con 29 municipios, con una superficie total de 8.000 km² y más de 1 millón de habitantes. Promueve la gestión por cuencas hidrográficas (actúa por cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas) de manera integral e integrada con un enfoque sistémico, con amplio proceso participativo, de ciudadanía y responsabilidad compartida, involucrando a una enorme red de asociados, miles de actores locales, ya sea económicos, sociales, políticos, ambientales y culturales, analizando cada microcuenca desde un punto de vista socio ambiental. El programa Cultivando Agua

Buena (CAB) ha tenido experiencias internacionales exitosas, y podría decirse que sus principios y metodología pueden ser válidos para cualquier cuenca y facilitan la Gestión Integrada del Agua.

Por otra parte, en Oaxaca, México se tiene la intención de atender la problemática de la Sub-cuenca del Río La Venta que se encuentra en la Cuenca Río Copalita ubicada en la Región Hidrológica 21, que corresponde a la zona administrativa de la región V, Pacífico Sur. Para ello en 2013 se iniciaron una serie de estudios que culminaron en febrero del 2014 con la elaboración del Plan Rector para el Desarrollo Rural Sustentable de la Cuenca Emblemática del Río Copalita². Dicho plan comprende la integración del diagnóstico ambiental y socioeconómico en el que se determinó la calidad ecológica, fragilidad natural y vulnerabilidad (climática y antropogénica) de la cuenca, así como el potencial productivo de tierras.

A partir del diagnóstico se diseñaron medidas de prevención, mitigación y restauración ecológica para las áreas de mayor deterioro ecológico y se generaron recomendaciones técnicas para la promoción de los servicios ambientales a nivel municipal. También se analizaron las afectaciones agrícolas por cambio climático y se plantearon recomendaciones técnicas para la adaptabilidad de cultivos. Se propuso la creación de un fondo especial concurrente para la ejecución de los proyectos estratégicos y la inversión pública en la solución de la problemática agro productiva.

Por lo antes señalado, y porque la microcuenca de La Venta -especialmente en la parte alta-, tiene gran importancia ambiental, social y económica en la región, se concluye que es una de las zonas que presentan mayor impacto ambiental por actividades humanas; por lo que fue seleccionada para implementar el proyecto denominado “Intercambio de Experiencias México–Brasil: Proyecto Piloto Copalita-Paraná”, mediante un convenio colaborativo entre el Comité de Cuenca de los Ríos Copalita Tonameca A.C. y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).



Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Copalita

El objetivo general del proyecto³ es intercambiar experiencias entre la cuenca del río Copalita –cuyo Comité de Cuenca ha venido implementando acciones basadas en un Plan Rector para el Desarrollo Rural Sustentable–, y la cuenca del río Paraná –que lleva a cabo acciones de gestión participativa del agua a través del programa Cultivando Agua Buena, que promueve la empresa hidroeléctrica Itaipú Binacional–, para impulsar una gestión sustentable del agua y del ambiente a nivel de microcuencas.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La subcuenca Río La Venta se encuentra ubicada en la cuenca del Río Copalita, en la Región Hidrológica número 21, que corresponde a la zona administrativa de la Región V, Pacífico Sur (Rodríguez, 2012). La región Sierra Sur y Costa, cuenta con el Distrito 26 de Miahuatlán y Distrito de

Pochutla, donde se encuentran los municipios que conforman la subcuenca del Río La Venta, San Sebastián Río Hondo, San Andrés Paxtlán, San Mateo Río Hondo, San Miguel Suchixtepec, Santa María Ozolotepec, San Marcial Ozolotepec, San Pedro el Alto.4

La cuenca del río Copalita es poseedora de gran biodiversidad, muestra importantes procesos de deterioro, pérdida de bosques y erosión por cambio de uso de suelo sin una visión sustentable. Esto ha impactado fuertemente a sus ecosistemas, alterado el ciclo hidrológico y limitado el acceso a fuentes de abastecimiento de agua, superficiales y subterráneas, de las que se abastece la población de la cuenca y el complejo turístico Bahías de Huatulco. Es justamente en esta cuenca donde el proyecto Intercambio de Experiencias México–Brasil: Proyecto Piloto Copalita-Paraná toma lugar para ejecutarse durante el periodo 2015-2018.

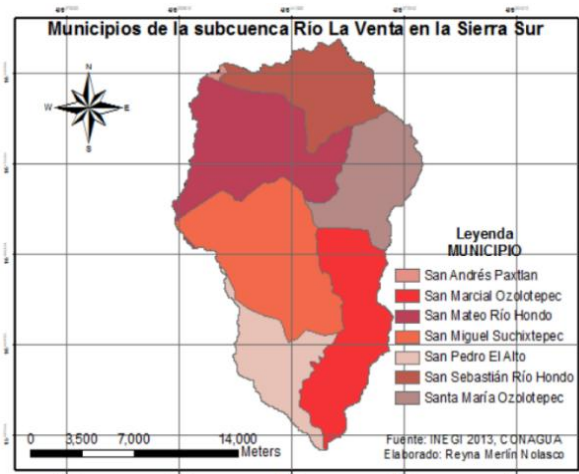


Figura 2. Municipios de la Subcuenca Río La Venta

Posterior a la selección de la microcuenca en la que se llevaría a cabo el proyecto, la metodología que se estableció fue la siguiente:

1) **Integración de un Equipo Líder** para coordinar y dar seguimiento al proyecto.

En septiembre de 2015 se inició la Integración y coordinación de un Equipo Líder del proyecto, en San Mateo Río Hondo. Estuvo conformado por los integrantes del Comité de Cuenca de los Ríos Copalita-Tonameca (CCRCT); es decir, por su Gerente, el Coordinador de Atención a Emergencias y Consejos de Cuenca, Un Catedrático del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, El Coordinador del Programa Agua en Oaxaca de WWF, una Especialista del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, miembros de la Comisión Nacional del Agua

(CONAGUA), y de la Comisión Estatal del Agua (CEA). La función principal del Equipo Líder consiste en coordinar el proyecto en su ámbito de competencia, colaborar, aportar información, facilitar su ejecución y dar seguimiento al proyecto.



Figura 3. Equipo Líder en recorrido con personas de la comunidad en San Mateo Río Hondo

2) **Integración de Comités Gestores Municipales** para contribuir a la planeación y ejecución de las acciones en la microcuenca de la Venta, tomando como punto de partida el Plan Rector de la cuenca



del río Copalita. En esta etapa se inició en 2016 un proceso de identificación y sensibilización de los principales actores sociales e institucionales de los Municipios de San Andrés Paxtlán y San Mateo Río Hondo. Lo que se pretende bajo este esquema de intervención territorial es promover la aplicación del principio de responsabilidad compartida, trabajo interinstitucional e interconectado. Para un mejor funcionamiento, se decidió que la mesa directiva del Comité debe integrarse por un Presidente, Secretario, Tesorero y de tres a cinco Vocales, dependiendo del número de organizaciones o liderazgos existentes. Se estableció como deseable que en la mesa directiva estén presentes tanto el Presidente Municipal, como algún representante de la tenencia de la tierra (Presidente de bienes comunales, Comisariado ejidal, etc.), el Presidente del Comité de Cuenca y representantes de las principales organizaciones comunitarias (maestro, cura, activistas ambientales, comités de agua potable, agricultores, empresarios, etcétera). El objetivo de mantener esta conformación es nivelar la presencia de las autoridades municipales (que cambian cada tres años), con la de organizaciones y liderazgos comunitarios de largo aliento⁵.

3) Desarrollo y fortalecimiento de competencias en materia de educación y cultura ambiental para la sostenibilidad, a implementarse por una red de educadores con actuación permanente en la región. Para el cumplimiento de esta etapa, se programaron y efectuaron Talleres de Formación de Facilitadores, basados en el Programa de Agua y Educación para las Américas y el Caribe, de la Fundación del proyecto WET y del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. Estos talleres tienen por objetivo que el participante aplique métodos, técnicas y conocimientos que le permitan impartir y facilitar cursos o talleres de cultura del agua con enfoque de cuenca. Que reciba retroalimentación sobre su desempeño en el curso y que tenga un acercamiento a la problemática del agua y a la importancia del proceso educativo para transformar la cultura del agua en su región. Como herramienta principal se entrega a los participantes el Currículum y Guía de Actividades para Educadores ¡Encaucemos el Agua!

Adicionalmente se organizaron Cursos sobre Huella Hídrica y Consumo Sostenible, dirigidos al Equipo Líder, Facilitadores formados, miembros interesados de los Comités gestores y representantes de distintas organizaciones de la comunidad cuyo objetivo es que el participante comprenda los conceptos e importancia del “consumo sostenible”, del “agua virtual” y de la “huella hídrica”, así como la dimensión global de la gestión del agua, derivada del comercio de productos con altos requerimientos de agua.

4) Preparación y convocatoria a Talleres del Futuro⁶, que permitan involucrar a los habitantes en la planeación y puesta en marcha de acciones. Para 2017 se tiene contemplada la capacitación en la Metodología de los Talleres del Futuro del programa Cultivando Agua Buena, consistente en tres pasos:

- a) *Muro de las lamentaciones*, en donde se alienta a la comunidad a expresar sus críticas, percepciones de la problemática ambiental y a identificar y lamentar también sus comportamientos nocivos al medio ambiente, a través del reconocimiento y la lista de las cuestiones que deben resolverse.
- b) *Árbol de la esperanza*, se traduce en las aspiraciones de hoy y mañana (sueños). Es tiempo de soñar, no solo de lamentar, de tener esperanza. Cada sueño es discutido, votado y va al árbol de la esperanza.
- c) *Camino hacia adelante*, inspirado en la Carta de la Tierra, es un plan de trabajo. La comunidad define las acciones correctivas de los problemas identificados, se comprometen a adoptar nuevos comportamientos basados en la ética del cuidado y la convivencia solidaria.

Adicionalmente se tiene contemplado que en 2017 y 2018 se lleven a cabo el Pacto de las aguas, los convenios y ejecución de las acciones planeadas.

5) Visita de una delegación brasileña a la microcuenca de La Venta y visita de una delegación mexicana a la cuenca del río Paraná, para iniciar colaboración y acciones conjuntas. En estas visitas se pretende que los participantes conozcan e intercambien ideas sobre la filosofía y el funcionamiento



del proyecto, la estructura, las formas de organización, de financiamiento, los problemas que se presentan, las soluciones que se aplican, la integración y mantenimiento de la red local de los educadores ambientales, los beneficios -entre otros aspectos-, y que comparen sus distintos contextos, evaluando las posibilidades de implementar la propuesta CAB, en la medida que lo permitan las condiciones locales, incorporando los proyectos que actualmente llevan a cabo y proponiendo nuevos.

3 RESULTADOS

Debido a que el proyecto inició en agosto de 2015, y se tiene contemplado concluir las etapas planeadas en 2018, hasta el momento se cuenta con algunos resultados preliminares, que a continuación se mencionan:

1) **Se cuenta con un Equipo Líder**, quien se ha hecho cargo de coordinar el proyecto en su ámbito de competencia, colaborar, motivar la participación, aportar información, facilitar su ejecución y dar seguimiento.

2) **Se integraron dos Comités Gestores Municipales**, uno en San Andrés Paxtlán⁷ y el otro en San Mateo Río Hondo⁸, ambos Comités quedaron instalados con sus respectivas mesas directivas. En los dos municipios se contó con la asistencia del Coordinador de Atención a Emergencias y consejos de Cuenca del OCPS, el Gerente de la CCRCT y un Especialista del IMTA. Adicionalmente para el caso de San Andrés Paxtlán, asistieron: el Presidente Municipal, el Regidor de Hacienda, un representante del Comité de salud, del Sector Agrícola, Apícola, Acuacultura, Turismo, Restaurantero, Fruticultura, Campesino, Juvenil y una representante de las Amas de casa. En San Mateo, Río Hondo asistieron: el Presidente Municipal, Síndico Municipal, Regidor de Obras, Secretario Municipal, Regidor de Hacienda, Alcalde Único Constitucional, Segundo Alcalde y un invitado representante de WWF-FGRA. En su mesa directiva quedaron un representante de Salud, del uso doméstico, del Sector Productivo, Acuacultura, Agrícola y del académico. Lo anterior para contribuir a la planeación y ejecución de las acciones en la microcuenca de la Venta, tomando como punto de partida el Plan Rector de la cuenca del río Copalita.

3) **Se cuenta con un grupo de más de 50 personas de la cuenca en proceso de formación y fortalecimiento de competencias en materia de educación y cultura del agua**. A la fecha se han impartido, en San Mateo Río Hondo, dos talleres de Formación de Facilitadores en Cultura del agua a un total de 59 habitantes de la cuenca, provenientes de escuelas, organizaciones locales y diversas instituciones interesadas en el tema. Durante el segundo taller, estuvo presente Jair Kotz, Superintendente Ambiental de Itaipú Binacional, explicando ampliamente el Programa Cultivando Agua Buena y el proyecto Intercambio de experiencias México-Brasil a nivel de microcuenca: Proyecto piloto Copalita -Paraná. Esto despertó gran interés por los resultados exitosos que ha tenido dicho programa y dejó sembrado el deseo de participar activamente en el proyecto que se llevará a cabo en su cuenca. También se impartió un curso sobre Huella Hídrica y Consumo Sostenible, en Huatulco, a un total de 42 habitantes de la cuenca que forman parte de los Comités Gestores Municipales, del equipo Líder y de los Facilitadores formados, entre otros.

En las evaluaciones de estos talleres y cursos, los participantes expresaron que estas capacitaciones deben dirigirse a toda la población, independientemente de la edad, y actividad a la que se dediquen, para sensibilizarla, reflexionar acerca del valor e importancia de nuestros recursos naturales y para promover relaciones y facilitar la participación conjunta en acciones ambientales en la cuenca⁹. En cuanto al material educativo les pareció valioso, adaptable y pertinente para aplicarlo con los distintos sectores de la población de su cuenca. La mayoría de las personas se manifestó a favor de formar parte de la red de educadores ambientales para su cuenca, y para continuar informándose y formándose en estos temas y poder colaborar de manera eficiente. También reportaron sentirse motivados,

comprometidos y con interés en involucrarse en la planeación y ejecución de acciones tendientes a mejorar las condiciones de su cuenca.



Figura 4. Jair Kotz, Superintendente Ambiental de Itaipú Binacional, explicando ampliamente el Programa

ma Cultivando Agua Buena

4) Preparación y convocatoria a Talleres del Futuro. Si bien se decidió realizar la convocatoria de los Talleres del Futuro en el 2017, se avanzó en la difusión de los objetivos, actividades y metodología del programa Cultivando Agua Buena, entre los asistentes a los talleres y reuniones realizadas para la conformación de los Comités Gestores Municipales. En estas reuniones se distribuyeron diversos materiales de comunicación como trípticos, folletos y carteles.

5) A la fecha se han realizado tres visitas de intercambio de experiencias entre la microcuenca de La Venta y la cuenca del río Paraná. Dos de estas visitas han sido por parte de la delegación mexicana y una por parte de la delegación brasileña. Enseguida se describen:

Por invitación de Itaipú Binacional en septiembre de 2015 se realizó una visita, por parte del Gerente de Consejos de Cuenca de la CONAGUA y una Especialista del IMTA, para asistir al *Encuentro de experiencias pioneras e innovadoras de participación social en la gestión del agua. Construyendo una red global*.

Además, realizaron una visita a los municipios de Santa Teresinha, San Miguel de Iguazú e Itaipulandia para conocer proyectos sustentables y de participación social en la gestión del agua. Visitaron una zona agrícola con corredores biológicos, a un pequeño agricultor de productos orgánicos, a una planta de separación de basura para ser reciclada y asistieron a una ceremonia de entrega de réplicas del premio ONU-AGUA 2015 a las mejores prácticas en la gestión del agua – que ganó el programa Cultivando Agua Buena-, a diversos actores que contribuyeron a su obtención.



También conversaron con participantes de Guatemala, República Dominicana y Argentina que están implementando el programa CAB en sus países. Hicieron un recorrido por la exposición CAB y participaron en un taller de discusión sobre la creación de una Red de Intercambio de Experiencias Pioneras e Innovadoras de participación Social en la Figura 5. Jair Kotz, Superintendente Ambiental de Itaipú, exponiendo sobre los

corredores biológicos.

Gestión del Agua. Finalmente asistieron a una reunión con el Director del programa CAB, el Superintendente Ambiental de Itaipú y un Asesor externo de Itaipú, para comentar los pasos a seguir para el intercambio de experiencias Copalita-Paraná¹⁰.

En 2016 se realizó una visita por parte del Superintendente Ambiental de Itaipú, representando al CAB, quien realizó un recorrido en la microcuenca seleccionada para el proyecto piloto acompañado con parte del Equipo Líder, y posteriormente participó en el Taller de Formación de Facilitadores, explicando ampliamente el CAB, su estructura, filosofía, metodología, funcionamiento, entre otros temas.

También en este año se llevó a cabo una segunda visita de la delegación mexicana a Brasil. En esta ocasión asistieron algunos de los miembros del Equipo Líder, un Especialista del IMTA, integrantes de los Consejos Gestores Municipales y uno de los Facilitadores formados. El objetivo de esta visita fue fortalecer lazos de trabajo, conocer *in situ* las distintas actividades y proyectos que ha desarrollado este programa en las comunidades brasileñas afectadas por la construcción de la presa Itaipú Binacional a lo largo de 15 años; además de constatar con la población beneficiada el impacto positivo que ha generado en sus comunidades y familias la implementación de las acciones desarrolladas con el programa Cultivando Agua Buena. Por otro lado, esta visita abona a la consolidación de la relación binacional entre México y Brasil, y se reiteró el compromiso de mantener el intercambio de experiencias, a fin de fortalecer capacidades en el manejo de cuencas hidrológicas.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Desde hace varios años se vienen desarrollando en la cuenca acciones para la sustentabilidad por parte de diferentes órdenes de gobierno y organizaciones como el WWF y la Fundación Gonzalo Río Arronte. Así mismo, organizaciones locales trabajan en temas como: a) eco-tecnologías en el manejo integral del agua: construcción de cisternas de ferrocemento, construcción de sanitario ecológicos, captación agua pluvial, curvas de nivel, zanjas de infiltración, biofiltros tratadores de aguas grises y conservación de manantiales; b) eco-tecnologías que permiten disminuir el uso de energía, como: calentador de agua solar, deshidratador solar, fogones Lorena, Patsari y Onil; y c) en el ámbito de la agricultura orgánica (maíz, frijol, frutales, café, jitomate en invernadero), maíz intercalado con frutales (MIAF), producción de hongos seta, producción de planta en vivero, abonos orgánicos (composta, bocashi, lompricomposta y biofertilizantes fermentados con estiércol de vaca), huertos verticales y biointensivos.



Estas experiencias han abonado a la cultura de organización y participación comunitaria de la población de la cuenca, así como a la existencia de organizaciones trabajando en distintos proyectos, lo cual resulta en grandes ventajas que se deben aprovechar para impulsar el trabajo de los Comités Gestores Municipales en colaboración con el Equipo Líder, que se encuentra muy motivado para llevar a cabo este reto de coordinar la implementación de este proyecto CAB, alineado al Plan Rector para el Desarrollo Rural Sustentable de la Cuenca Emblemática del Río Copalita, y con la intervención y acompañamiento de las instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, H. Ayuntamientos de los Municipios de la cuenca y algunas empresas privadas.

Aunque todavía no se llevan a cabo los Talleres del futuro, con el conocimiento que tienen el Equipo Líder y los Comités Gestores Municipales decidieron incursionar en el reto antes mencionado, incorporando en el marco de CAB dos proyectos de los que venían trabajando, para empezar a dar a conocer a la población esta propuesta. Los proyectos son: a) Arbolotón, que pretende reforestar la parte alta de la cuenca, que provee de servicios ambientales que benefician directamente el destino turístico de Bahías de Huatulco; y b) Programa de educación ambiental que tiene por objetivo sensibilizar a la comunidad en torno a la valorización y conservación de la cuenca. En este sentido, la estrategia seleccionada fue la realización de Jornadas de tres días en las poblaciones elegidas, en las que se capacita en distintos temas; por ejemplo: manejo de residuos sólidos, agricultura orgánica y preparación de alimentos, reutilización del PET, construcción de biofiltros de aguas grises, construcción de estufas ahorradoras de leña, etcétera (los temas se escogen dependiendo de las necesidades de las comunidades a visitar). En estos proyectos participan algunos de los facilitadores que se encuentran en formación, estudiantes que están realizando servicio social y prácticas, personas que están realizando estancias profesionales, además de las instituciones gubernamentales, no gubernamentales, los Ayuntamientos de los Municipios visitados y empresas privadas.

Cabe mencionar que una limitación del proyecto es la falta de un sistema de evaluación que permita reconocer con claridad los impactos en los capitales humano y social de los actores de la microcuenca, lo cual deberá atenderse a la brevedad.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a: Miguel Ángel Arango y Rosa María Guadalupe Ríos de la Comisión Nacional del Agua OCPS; Edén Hernández Vásquez y Aniksi Domínguez Hernández de la Gerencia del Comité de Cuenca de los Ríos Copalita-Tonameca; a los Presidentes Municipales, y al personal que labora en los Municipios de San Andrés Paxtlán, de San Mateo Río Hondo, de San Miguel Suchixtepec y de Santa María de Huatulco; así como a las organizaciones que se encuentran colaborando en la región (Mis Bin Semilla para la siembra A.C. Bioculturalidad para el Desarrollo, Gucinala A.C., WWF-FGRA, entre otros); y a Jair Kotz, Superintendente Ambiental de Itaipú, del programa brasileño Cultivando Agua Buena, por todos los apoyos brindados para la realización de las distintas actividades que se han llevado a cabo en el marco de este proyecto piloto entre el IMTA y el CCRCT. Las claves de los proyectos utilizados en el IMTA son: CP1532.3, para 2015 y CP1532.2 para 2016.

También se agradece el esfuerzo coordinado, técnico y científico, para la elaboración del Plan Rector para el Desarrollo Rural Sustentable de la Cuenca Emblemática del Río Copalita, que realizaron las instituciones cooperantes: UNIVAS S.C., INEGI, FONATUR, ITVO, CIESAS, WWF, CONAGUA, INIFAP, OIEDRUS-OAX, CIIDIR-IPN OAXACA, y Comité de Cuenca Río Copalita-Tonameca con la colaboración de autoridades municipales de la cuenca, lo cual representa una iniciativa de gran visión de la Unión Estatal de Productores de Café de la Confederación Nacional de Propietarios Rurales (CNPR).



6. LITERATURA CITADA

- 1 Itaipú Binacional. Programa Cultivando Água Boa, En: <http://www.cultivandoaguaboa.com.br/> Fecha de consulta: 30 de agosto de 2016.
- 1 Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal, Pesca y Acuicultura-SAGARPA. 2014. Plan Rector para el Desarrollo Rural Sustentable de la Cuenca Emblemática del Río Copalita. Diagnóstico ambiental. Oaxaca, México.
- 1 Vázquez del Mercado R. 2015. Apertura de proyecto. Documento interno del proyecto. IMTA. Jiutepec, Morelos, México.
- 1 Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal, Pesca y Acuicultura-SAGARPA. 2014. Plan Rector para el Desarrollo Rural Sustentable de la Cuenca Emblemática del Río Copalita. Diagnóstico socioeconómico. Oaxaca, México.
- 1 Romero R. 2016. Proceso para la constitución de los comités gestores municipales. Documento interno del proyecto. IMTA. Jiutepec, Morelos, México.
- 1 Romero R. 2016. Apertura de proyecto. Documento interno del proyecto. IMTA. Jiutepec, Morelos, México.
- 1 Comité de Cuenca de los ríos Copalita-Tonameca. 2016. Acta de instalación del Comité Gestor del Municipio de San Andrés Paxtlán, Documento interno del proyecto. Oaxaca, México.
- 1 Comité de Cuenca de los ríos Copalita-Tonameca. 2016. Acta de instalación del Comité Gestor del Municipio de San Mateo Río Hondo, Documento interno del proyecto. Oaxaca, México.
- 1 Uribe R. Informe del Taller de Formación de Facilitadores en Cultura del agua. 2016. Documento interno del proyecto. IMTA. Jiutepec, Morelos, México.
- 1 Vázquez del Mercado R. 2015. Informe de avance al 31 de octubre de 2015. Documento interno del proyecto. IMTA. Jiutepec, Morelos, México.



Extenso ID: 359. Dulce Livier Pérez Gámez. EL AGUA DE TU ESCUELA VIENE DE LA CUENCA "PROGRAMA DE FORMACIÓN DE COLECTIVOS ESCOLARES: AGENTES H2O"

[Regresar al índice](#)

Conselva, Costas y Comunidades A.C.

dulce.perezgamez@conselva.org

RESUMEN

Buscando fomentar una cultura de gestión responsable del agua basándose en un enfoque de cuenca, se diseñó el “Programa de Formación de Colectivos Escolares: Agentes H2O”, dando como resultado la implementación de 20 proyectos de intervención basados en la metodología EEPE, que surgieron a partir de la elaboración de un diagnóstico socioeducativo de cada escuelas realizado por niños de quinto grado de primaria quienes para adquirir la certificación como agentes H2O se integraron a un proceso educativo donde conocieron el ciclo natural y urbano del agua, la función y características de la cuenca del río Presidio así como el proceso para construir, a partir de su propia indagación, un plan de acción que sumara a la apropiación de mejores prácticas en el manejo del recurso por todo el colectivo escolar.

Entre las estrategias ejecutadas destacan distintas campañas de concientización, construcción de filtros, adopción de tecnologías caseras para un mejor aprovechamiento del agua, instalación de un sistema de riego por goteo con botellas pet, instalación de canaletas para cosecha de agua de lluvia y la construcción de huertos verticales.

Se logró la vinculación con diferentes instituciones como la Sepyc, la Universidad Autónoma de Sinaloa, y la Universidad Pedagógica del Estado de Sinaloa. Además de trabajar de manera coordinada con la Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Mazatlán y contar con el visto bueno de la coordinación estatal de cultura del agua de la CONAGUA, lo que resultó en un primer encuentro interescolar impactando a 800 niños de manera directa y más de 4 mil indirectamente, donde los agentes presentaron los resultados obtenidos en cada experiencia destacando: la disminución de hasta el 30% en los consumos de agua en las escuelas, la incorporación de temas de cuenca en el cotidiano de los colectivos además de potenciar el empoderamiento de los actores para la puesta en práctica de soluciones hechas a la medida ante las problemáticas de agua que enfrentan y la adopción de buenas prácticas de manejo de agua en la comunidad.

Educación no formal, Primaria, colectivos, cuenca Presidio, Agentes H2O

INTRODUCCIÓN

En el año 2014 Conselva, Costas y Comunidades A.C., desarrolló un primer estudio de percepción en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa donde se buscaba evaluar el nivel de conocimiento de la sociedad en temas de agua, cuenca y cultura del agua. Los resultados han servido de línea base para la puesta en práctica de una campaña de comunicación que además de sensibilizar en estos temas, busca posicionar a la cuenca y los servicios ambientales en el discurso colectivo.



Entre los resultados más relevantes del estudio (Conserva, 2015) se identificó que el 95.2% de los encuestados desconoce qué es una cuenca, el 80.4% nunca ha escuchado hablar sobre servicios ambientales y el 96.5% nunca ha participado en alguna campaña relacionada con el cuidado del agua.

A partir de este análisis, se identificó la necesidad de incidir en tres sectores de la población mazatleca para dar relevancia a ésta temática: Los ciudadanos, para fomentar la intención de los mazatlecos en la toma de decisiones entorno al tema del agua; el sector educativo, como una herramienta poderosísimas para abonar a la creación de una cultura de gestión responsable del agua; y el sector productivo, desde su papel de grandes usuarios del agua en Sinaloa.

En este sentido, Conserva ha desarrollado una serie de estrategias que buscan garantizar agua limpia y abundante para el sur de Sinaloa, dentro de las cuales se inserta el Programa de Formación de Colectivos Escolares: Agentes H₂O teniendo como objetivo *fomentar una cultura de gestión responsable del agua basándose en un enfoque de cuenca*, a partir de la implementación de un plan de acción que fuera planteado y validado por niños y niñas de quinto grado de primaria para lo cual fue necesario hacer la vinculación con el organismo operador de agua en Mazatlán: JUMAPAM⁵ quien a través de su departamento de cultura del agua se incorporó en el programa, principalmente para abordar temas relacionados con el ciclo urbano en Mazatlán.

Los trabajos dieron inicio durante el ciclo escolar 2015-2016 a partir de la hipótesis de que “si formamos una niñez empoderada, con la capacidad e intención de tomar decisiones en temas de agua, podemos reducir el desperdicio de agua en el entorno escolar” para lo cual se utilizó la metodología “Enseñanza de la ecología en el patio de la escuela” (Natalia Arango, 2002).

El programa fue presentado y aprobado tanto por el Jefe de servicios regionales de la Secretaría de Educación Pública y Cultura del Estado de Sinaloa como por los jefes de sector de las escuelas involucradas y contó con la colaboración de estudiantes de la Universidad Autónoma de Sinaloa y la Universidad Pedagógica del Estado de Sinaloa.

El programa de formación de colectivos escolares, se planteó para el quinto grado de primaria debido a que los contenidos programáticos son los más pertinentes vinculándose más de 90 temáticas distintas y se apoyó en un manual de trabajo elaborado específicamente para este proyecto.

La etapa piloto, culminó en el marco de la celebración del día mundial del agua con la presentación de resultados donde los niños expusieron frente a los demás colectivos conformados por autoridades educativas, maestros, padres de familia, funcionarios públicos, organizaciones de la sociedad civil y mazatlecos interesados, los resultados de los trabajos realizados durante más de seis meses.

Actualmente se está gestando la segunda etapa del proyecto, que además de los sectores involucrados, está incorporando a especialistas en tecnología ambiental por parte de la Universidad Politécnica del Estado de Sinaloa quienes estarán construyendo propuestas de intervención a partir de los resultados de los diagnósticos contruidos por los niños.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El programa tuvo lugar en Mazatlán Sinaloa, en 20 escuelas primarias y en El Rosario Sinaloa en 2 instituciones con niños de quinto grado.

Para dar inicio al programa se capacitaron a 25 promotores ambientales, en la aplicación de la metodología EEPE a lo largo de 6 sesiones teóricas y 6 sesiones prácticas, estos promotores pertenecían a la Licenciatura en Educación (LE) y la Licenciatura en Intervención Educativa (LIE) de la Universidad Pedagógica del Estado de Sinaloa, quienes fueron responsables del soporte y

⁵ Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Mazatlán.



acompañamiento pedagógico, además de prestadores de servicio social de las Licenciaturas en sociología, economía y ciencias de la comunicación.

Una vez capacitados, se les asignó una institución donde debían hacer la intervención. La primera etapa consistió en acompañar a los alumnos en la construcción de un diagnóstico de la escuela relacionado en temas de agua. Los niños recorrían las instalaciones de su plantel para identificar los espacios en los que la comunidad escolar interactuaba con el agua abordando 3 temáticas: análisis de la infraestructura escolar, usos y costumbres en torno al agua y problemáticas históricas de abastecimiento, indagando en los siguientes rubros:

- a) Análisis de la red de distribución: por dónde llega el agua a la escuela; cuál es el camino que siguen las tuberías; dónde hay tinacos, llaves, coladeras, aljibes, WC's, mingitorios y otros accesorios que utilicen agua, qué fugas hay en la escuela, cuáles son las llaves que no funcionan, en dónde se encharca el agua de la lluvia; dónde hay filtraciones de la lluvia en el edificio, si hay tinacos que rebosan al llenarse, entre otros problemas que se presenten.
- b) Usos y costumbres en temas de agua: ¿Quién utiliza más agua, niños o niñas?, ¿Qué sucede con el agua que sale de los aires acondicionados?, ¿cómo se utiliza el agua de los lavabos?, ¿cómo se usa el agua de los bebederos?, ¿a qué hora se riegan los jardines?, etc.
- c) Problemática histórica: por medio de la entrevista a un adulto que lleve trabajando mucho tiempo en la escuela, los alumnos deberán conocer de qué forma la escuela ha sobrellevado o superado los problemas de desabasto y distribución de agua.

Los resultados fueron planteados en un croquis de ubicación donde se identificaban los aspectos positivos *versus* los negativos, mismo que servía de análisis para los colectivos.

Cada una de las escuelas enlistó las problemáticas identificadas y decidió las preguntas detonadoras que dirigirían la investigación a realizar. A partir de estos cuestionamientos, se desarrollaron las mediciones pertinentes, por ejemplo, la cantidad de agua utilizada por los niños de tercer grado durante el recreo contra la cantidad de agua utilizada por los alumnos de cuarto, lo que les permitió identificar aquellos puntos y sujetos donde era prioritario hacer una intervención.

Cada una de las instituciones construyó un diagnóstico que analizaba cada una de las problemáticas además del contexto en las cuales se insertaban estas, para después seleccionar aquella que despertara el mayor interés de los niños y que les permitiera tener un rango de injerencia.

La discriminación de las problemáticas se realizó a partir del esquema de Hisikawa, o espina de pescado, y determinó la problemática a intervenir.

Una vez seleccionadas, la o las problemáticas, se procedió a realizar un plan de acción que buscaba una solución inclusiva y corresponsable entre los niños, los maestros y los padres de familia.

Este plan de acción debía contener una justificación de la pertinencia de las acciones, además de un cronograma de actividades y un listado de responsables de cada una de ellas. Se estableció una serie de indicadores que evaluaban el éxito de cada una de las acciones a implementar.



A lo largo de tres meses y con el acompañamiento de los promotores ambientales se dio el seguimiento a cada actividad planteada y se fueron haciendo las mediciones que respaldaban los resultados del programa.

Durante la celebración del día mundial del agua, se realizó el primer encuentro de agentes H₂O, donde cada una de las escuelas presentó en un stand, cada una de las acciones emprendidas y expuso en una plenaria las conclusiones a las que llegaron los participantes.

La participación de JUMAPAM fue determinante al llevar a cada una de las escuelas participantes el ciclo urbano del agua como una temática dentro de la curricula, mientras que a cargo de Conselva estuvo el abordaje de temas como la importancia de las cuencas, los servicios ambientales y el balance hídrico de Mazatlán.

RESULTADOS

Como resultado del programa, se obtuvieron distintos proyectos individuales entre los que destacan:

ESC. PRIM. GRAL. JUAN CARRASCO.

En la realización del diagnóstico se identificó que la principal problemática de la institución es que existe desperdicio de agua en los bebederos y en los baños por lo que a lo largo de 11 sesiones se realizaron ejercicios de concientización a partir del planteamiento de experimentos logrando la reducción del 20% en los consumos de agua.

ESC. PRIM. NUEVA CREACIÓN SANTA TERESA.

Durante el diagnóstico se identificó que los niños más pequeños de la escuela (primer y segundo grado) jugaban con el agua de los lavamanos por lo que el grupo decidió diseñar una propuesta de intervención que ayudara a concientizar a este sector a partir de distintos juegos. Se desarrollaron 11 sesiones y se finalizó con pláticas informativas a los padres de familia para difundir los alcances obtenidos con la propuesta.

ESC. PRIM. GRAL. FRANCISCO VILLA.

Esta institución cuenta con una matrícula muy pequeña (60 alumnos en total) por lo que en general no existen problemas de desperdicio de agua y tampoco se identificó que hubiera problemas en la infraestructura. Sin embargo, no cuenta con áreas verdes en el patio de la escuela por lo que la propuesta de intervención va en el sentido de construir un huerto vertical con la ayuda de botellas pet con lo que los niños buscan ayudar a mejorar el microclima de su institución y captar agua de lluvia para el riego.

ESC. PRIM. JOSÉ ANTONIO SARABIA LÓPEZ.

Durante el diagnóstico se identificaron varias problemáticas entre las que destacan la falta de abastecimiento de agua durante el turno vespertino además de que en la única llave que proporciona agua a la primaria presenta constantes fugas por lo que la intervención más urgente se realizó en el sentido de subsanar los desperdicios. Se estableció la incorporación de la metodología tippy tap como una propuesta para eficientizar los consumos de agua en el lavado de manos de los niños.



ESC. PRIM. 13 DE SEPTIEMBRE.

El diagnóstico realizado en esta primaria arrojó que era necesario atender el desabasto de agua que se tenía por lo que se han venido construyendo distintos filtros caseros de agua lo que les permite a los alumnos reciclar el agua en la institución.

ESC. PRIM. GRAL. ÁNGEL FLORES.

Esta institución es la más antigua en la lista de escuelas inscritas en el programa de formación de colectivos escolares, por lo que sus principales problemáticas se refieren a la infraestructura. Por lo que los alumnos han propuesto el diseño de filtros naturales de agua que ayuden a concientizar sobre el uso adecuado de este recurso. En las sesiones se alternaron pláticas informativas dirigidas por los mismos alumnos.

ESC. PRIM. IGNACIO MANUEL ALTAMIRANO.

El diagnóstico de la escuela Ignacio Manuel Altamirano arrojó como principal problemática a atacar la falta de conciencia de los usuarios del agua para contribuir a su cuidado por lo que los niños establecieron un calendario de pláticas en donde asisten a cada salón a compartir con sus compañeros las estrategias que pueden implementar para ayudar a cuidar el agua tanto en su escuela como en sus hogares.

INSTITUTO CULTURAL DE OCCIDENTE.

En esta institución educativa se estableció como área de oportunidad la reutilización del agua que tiran los aires acondicionados para lo que se implementó la colocación de cubetas para captar esta agua, misma que se utiliza para regar los jardines de la institución. Completaron su estrategia con el establecimiento de carteles donde invitan al colectivo escolar a adoptar prácticas de buen uso del recurso.

ESC. PRIM. BENITO JUAREZ.

En esta escuela el diagnóstico arrojó que era necesario implementar acciones que abonaran a la concientización del buen uso del agua ya que muy comúnmente los niños utilizan el recurso para jugar. Ante ello, se desarrolló una campaña de comunicación en donde los alumnos actuaban en una obra de teatro que abordaba las problemáticas a las que se enfrentan día a día las personas que no tienen suficiente disponibilidad de agua en la ciudad y las medidas que se pueden tomar para cuidarla.

ESC. PRIM. MIGUEL HIDALGO.

Al final del diagnóstico se identificó que era necesario que el colectivo escolar hiciera conciencia sobre la necesidad del cuidado del agua para lo cual se invitó tanto a alumnos como maestros a establecer un reglamento sobre el uso del agua en la institución. Además se está organizando la celebración de un festival por el agua en el que los alumnos buscarán hacer conciencia entre la comunidad para que adopten estrategias de cuidado del agua en la vida cotidiana.

ESC. PRIM. FORD 31.

Para el caso de esta institución se rehabilitó un huerto escolar que a partir de mantener la cubierta vegetal ayudará a la captación de agua. Se decidió esta estrategia debido a que no se identificaron



problemáticas entorno a la infraestructura hidráulica de la escuela, ni en el consumo del recurso, sin embargo una vez que los alumnos entendieron la función del suelo para la captación de agua decidieron ayudar a este proceso.

ESC. PRIM. AGUSTINA RAMÍREZ.

Según el diagnóstico realizado, en esta institución se tiene un problema histórico de desabasto de agua por lo que como estrategia de intervención se decidió instalar canaletas que ayuden a captar agua de la lluvia que sirva para reutilizar en los baños. Al día de hoy se han desarrollado 6 sesiones en las que se han incluido además de la elaboración del diagnóstico, la recolección de botellas de pet en la colonia para la construcción de estas canaletas.

ESC. PRIM. PETROLEOS MEXICANOS.

En la Esc. Prim. Petróleos mexicanos se identificó como principal problemática el descuido de las personas encargadas de regar los jardines al permitir que se desperdicie gran cantidad de líquido por lo que se intervino a través de un sistema de riego por goteo con botellas de pet.

ESC. PRIM. MARIANO ANDRADE.

En esta institución se estableció como objetivo de intervención la necesidad de concientizar al colectivo escolar ante el uso del agua. Para lo que se elaboraron distintos carteles que se pegaron en áreas comunes de la institución además de realizar visitas a los distintos grupos para plantear medidas a tomar para disminuir los consumos y sobre todo el desperdicio.

ESC. PRIM. MARTIRES DE LA REVOLUCIÓN.

El grupo de agentes H₂O ha convocado a un concurso de fotografía en donde se busca hacer conciencia sobre el uso correcto del agua, tanto dentro como fuera de la escuela. Este concurso forma parte de una campaña de concientización que incluye además folletos informativos.

ESC. PRIM. BICENTENARIO DE LA INDEPENDENCIA.

En esta institución se están realizando pláticas de concientización para disminuir los consumos y desperdicios de agua, ya que en el diagnóstico realizado se identificó que los alumnos de los grupos mayores son quienes más la desperdician al utilizarla cuando juegan. Para esta campaña se construyeron distintos materiales como filtros caseros de agua, carteles y trípticos.

ESC. PRIM. IGNACIO CHAVEZ.

Para la escuela Ignacio Chávez ha resultado prioritario trabajar en estrategias que se enfoquen al manejo adecuado del agua, para ello han decidido colocar plantas de sábila debajo de los aires acondicionados para aprovechar el agua que tiran. Además se ha realizado una visita a la planta potabilizadora de agua para que los niños conozcan parte del ciclo urbano del agua y puedan así transmitir de mejor manera sus conocimientos a sus compañeros.

ESC. PRIM. RAFAEL RAMIREZ.



En el diagnóstico realizado en la escuela Rafael Ramírez se encontró que era necesaria una estrategia que ayudara a utilizar el agua que desechan los aires acondicionados para lo que se está instalando un sistema de mangueras que ayude a conducir esta agua hacia los jardines de la institución.

Es importante resaltar que estas escuelas continúan desarrollando estas actividades como parte de su currícula, sin embargo, la segunda etapa contempla una capacitación más exhaustiva de los promotores ambientales con la finalidad de dar un mayor enfoque de cuenca al problema.

Al finalizar la etapa piloto de este programa se logró incidir de manera directa en más de 800 niños de quinto grado de primaria y de forma indirecta a más de 4 mil estudiantes, quienes no sólo lograron disminuir hasta un 30% los consumos de agua en sus escuelas, sino que también propiciaron la adopción de buenas prácticas en el manejo de agua de la comunidad.

AGRADECIMIENTOS.

Programa financiado Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, programa cuencas y ciudades.

Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Mazatlán.

Universidad Pedagógica del Estado de Sinaloa.

Universidad Autónoma de Sinaloa.

Secretaría de Educación Pública y Cultura del Estado de Sinaloa.

Comisión Nacional del Agua.

LITERATURA CITADA

- Conselva, C. y. (2015). *Estudio de percepción social sobre los servicios ambientales de las cuencas. Caso de estudio: zona urbana de Mazatlán y El Rosario, Sinaloa*. Mazatlán, Sinaloa.
- Natalia Arango, M. E. (2002). *Guía metodológica para la enseñanza de la ecología en el patio de la escuela*. Nueva York, NY USA: National Audubon Society.



Extenso ID: 143. Alejandra Pacheco Mamone^a, Carlos A. Robles Guadarrama^b, María de Lourdes Velasco Vázquez^c, Ernesto Pereda Rivera^d. BALANCE HISTÓRICO Y ANÁLISIS DE PROCESOS COGNITIVOS REFERIDOS A UNA EXPERIENCIA DE RESTAURACIÓN INTEGRAL ECOLÓGICA EN LA SIERRA DE SANTA MARTHA, VERACRUZ.

[Regresar al índice](#)

^a Desarrollo comunitario de los Tuxtlas, A.C./ Instituto Nacional de Antropología e Historia. Privada de Hernán Cortes N°32, Xalapa./ Cuauhtémoc N°8, Xalapa. Amne011@gmail.com

^b Desarrollo comunitario de los Tuxtlas, A.C. Privada de Hernán Cortes N°32, Xalapa. carroble59@yahoo.com.mx

^c Laboratorio de asesoría en informática y estadística LINAES. Facultad de Estadística e Informática. Universidad Veracruzana. Av. Xalapa, esq Ávila Camacho, s/nlulu760211@gmail.com

^d Laboratorio de asesoría en informática y estadística LINAES. Facultad de Estadística e Informática. Universidad Veracruzana. Av. Xalapa, esq Ávila Camacho, s/n pegasus_erny@hotmail.com

RESUMEN

La presente reflexión toma base en el análisis de una experiencia de restauración integral ecológica que inicia en el año 2007, y continúa a la fecha con la participación actual de 4 municipios, involucrando a 4 microcuencas y 37 comunidades en el sur del estado de Veracruz. El objetivo del análisis se focalizó en: la comprensión de los procesos cognitivos relacionados con el proceso de restauración y sus implicancias, incluyendo tensiones y conflictos entre los diversos sujetos; así como en un análisis de actitudes, expectativas y motivaciones, tanto de los sujetos directamente involucrados como de aquellos no participantes pero relacionados indirectamente. Complementariamente se realizaron análisis de actores institucionales gubernamentales relacionados con el proceso. Y análisis de expectativas mutuas sujetos comunitarios-sujetos institucionales. El enfoque se encuadra dentro del enfoque de corte cognitivo, incluyendo aquí consideraciones del enfoque decolonial. La estrategia metodológica combina abordajes cualitativos y cuantitativos, que incluyeron además de entrevistas semiestructuradas, y acompañamientos; una serie de test, aplicados en 4 comunidades dos de base étnica nahua y dos de base étnica popoluca, así como una serie de reactivos vinculados a análisis institucional, lo que fue completado con elementos básicos de análisis de discurso. Se presentan aquí resultados de la fase uno y fase dos en curso, destacándose el peso de factores que discriminan por origen étnico, edad, experiencia migratoria entre otros para la construcción de juicios respecto a la experiencia de restauración. Se reflexiona sobre la necesidad de complejizar los enfoques de análisis de interacciones en este tipo de procesos. Se discute como horizonte de fase 2 en curso y fase 3 un modelo de análisis que permitirá detectar e incorporar elementos de innovaciones y procesos de transformación-“translación” a nivel comunitario, en casos de estudio como el presente. Así como los análisis complementarios a nivel institucional y en actores ciudadanos vinculados con el proceso.

Palabras clave: complejidad, comunidad, interacciones, redes, resiliencia.

INTRODUCCIÓN

El presente texto tiene por finalidad reflexionar sobre un proceso regional de restauración ambiental, presentando resultados de una primera evaluación referida a las percepciones, motivaciones y expectativas sobre el proceso integral en sus aspectos ecológicos y sociales, en la sierra de Santa Martha Veracruz. Dicho proceso fue coordinado por una ONG: Desarrollo comunitario de los Tuxtlas, A.C. en acuerdo de co-participación con el comité de Cuenca del río Huazuntlán integrado por 35



comunidades indígenas desde el año 2007 a la fecha. Se propone analizar de que forma aspectos etnohistóricos y cognitivos pueden afectar este tipo de experiencias. Los objetivos principales de este estudio pueden resumirse como sigue: comprender la forma en que ha sido percibido el modelo y su forma de aplicación de parte de las comunidades involucradas, evaluar el grado de aceptación o disconformidad, así como las expectativas relacionadas con él. Comprender la percepción comunitaria respecto de las autoridades municipales y funcionarios gubernamentales en relación al modelo y actividades similares. Evaluar las formas de percepción históricas reciente y de larga duración que tienen los habitantes referentes a su entorno medioambiental y actividades en el desarrolladas. Evaluar las percepciones de actores institucionales gubernamentales sobre el modelo y su proceso.

Dada la importancia en un contexto de gran demanda y presión sobre el recurso agua, y en un escenario regional de deterioro ambiental acelerado, el aprendizaje de los diversos niveles de complejidad que este tipo de experiencia involucra nos llevó a diseñar una estrategia de evaluación del impacto de este modelo en tres fases, que serán detalladas en el ítem metodología. A continuación revisaremos algunos aspectos históricos de la región y asentamientos humanos que conforman este estudio.

La sierra de Santa Marta, ubicada en el sureste del oriental estado mexicano de Veracruz, de cara al Golfo de México, es una de la regiones más biodiversas de México. Integra cuatro cuencas, las de los ríos Huazuntlán, Pilapa, Guazinapa y Laguna del Ostión. La sierra se encuentra poblada desde hace más de cinco siglos por diversos grupos zoque-popolucas y nahuas⁶ (García de León 2011). La región se mantuvo en relativo aislamiento hasta bien entrado el siglo XX (Velásquez 2006), cuando sus recursos (agua, biodiversidad, madera, minerales, fuerza de trabajo, paisajes, entre otros) fueron demandados por el creciente desarrollo de las ciudades petroleras y comerciales que la rodean (Guevara 2010, García de León 2011). En la sierra de Santa Marta conviven en territorios diferenciados, desde hace al menos 500 años, dos etnias: los nahuas del Golfo (municipios de Mecayapan, Pajapan y Tatahuicapan) y los Zoque-Popolucas (municipio de Soteapan). Ambos grupos convirtieron a los volcanes de Santa Marta (1,750 msnm) y San Martín Pajapan (1,110 msnm) en “Regiones de Refugio” frente a la presión que significó la conquista y la presencia de piratas ingleses, francés y holandeses en las costas del Golfo de México. Los pobladores mantuvieron la propiedad comunal de su territorio hasta la década de los años sesenta cuando la presión del gobierno mexicano los obligó a parcelar sus territorios, proceso que culminó, no sin violencia e infinidad de problemas y tensiones entre los propios miembros de los pueblos indígenas, en el año 2000⁷ (Velásquez 2006). En paralelo al proceso de cambio en la tenencia de la tierra, desde la década de los años cuarenta se alentó la actividad ganadera, cuyo gran crecimiento se vivió entre la segunda mitad de la década del sesenta, y la primera mitad de los noventa, periodo en el que la sierra de Santa Marta perdió 51,770 hectáreas de selvas y bosques (Paré et al: 1997: 15). Posteriormente los programas de cambio de comunal a ejidal y de instauración del programa PROCEDE (programa de certificación de derechos agrarios), así como el proceso de expropiaciones y demarcación de la Reserva de Biósfera Tuxtla, avanzarían en un escenario lleno de tensiones y consecuencias conflictivas para estas poblaciones. Los cuatro municipios se encuentran en un gradiente de altitud de que va de 1,750 a 0 msnm, y se ubican en una de las regiones más lluviosas del país (más de 4,500 mm anuales en las partes altas de los volcanes) y de

⁶ La diversidad étnica de México abarca a 68 etnias que hablan igual número de lenguas indígenas

⁷ Desde los años cuarenta el gobierno presionó a comunidades con propiedad comunal de sus tierras para que aceptaran la propiedad ejidal, en la cual la nación es la figura constitucionalmente aceptada con derechos sobre la tierra que es entregada en usufructo a los campesinos (ejidatarios) quienes deben decidir y acordar en una asamblea el manejo del territorio ejidal. Esta forma de propiedad ha sufrido, a su vez, transformaciones con las reformas estructurales de inicios de los noventa.



selvas más septentrionales de América. Los municipios indígenas tienen una población de 70,135⁸ habitantes y, a pesar de su riqueza en recursos naturales, se encuentran identificados entre los más pobres del país, mientras que el municipio de Coatzacoalcos es el segundo en inversión industrial en el país después del Valle de México (zona metropolitana de la ciudad de México). Los puntos rojos en la imagen 2 indican la ubicación aproximada de dos plantas potabilizadoras: “El Platanillo”, situada en Soteapan, toma agua del río Huazuntlán y abastece a la ciudad de Acayucan y sus municipios conurbados de Oluta y Soconusco, fue construida en la década de los setenta y; la “Yuribia”, ubicada en el municipio de Tatahuicapan de Juárez, capta los escurrimientos de los arroyos Texizapan y Xonoapan (subcuencas del río Huazuntlán) que abastece a las ciudades de Coatzacoalcos y Minatitlán, fue construida en 1984. El agua que se capta en la sierra se destina al consumo humano –aproximadamente quinientas mil personas la consumen-, mientras que las necesidades industriales se satisfacen con agua del río Uxpanapa proveniente de la región de Los Chimalapas en el Istmo de Tehuantepec.

En el anterior contexto histórico también conviene destacar que la construcción de la presa Yuribia, generó polaridades entre los habitantes de la sierra, así como nuevas formas de acuerdos y clientelismo entre el municipio de Tatahuicapan y diversos sujetos políticos de la ciudad de Coatzacoalcos. Durante los procesos antes citados los vínculos con las diversas instituciones ligadas al campo y medioambiente, fueron en general difíciles y tensos (Durand y Lazos 2008, Pacheco y Robles 2014, Velásquez 2010). En este escenario se produjo la conformación de comité de comunidades. En el año 2004 cuando los representantes de cuatro comunidades serranas –dos popolucas y dos nahuas-, se reunieron para integrar una organización que diera cauce a gestiones ante la ciudad de Coatzacoalcos y el gobierno del estado para gestionar el mejoramiento de un camino de acceso a sus pueblos. Así, Ocotál Grande, Plan Agrario, Ocotál Texizapa y Encino Amarillo fundaron una organización que actualmente reúne a grupos de 35 comunidades de 4 municipios (incluidas la cabecera y otras comunidades del municipio de Tatahuicapan de Juárez), que, con apoyo de una organización de la sociedad civil⁹ ha generado el *Plan de Restauración y Conservación de las Cuencas de la Sierra de Santa Marta*. Además han abierto canales de gestión en dos de los tres niveles de gobierno (gobierno estatal y federal) y han constituido un amplio equipo de técnicos campesinos y profesionistas rurales que administran el proyecto y los recursos que gestionan desde un espacio de participación denominado *Subcomité de Cuenca del río Huazuntlán* y que este 2016 cumple 12 años de reunirse ininterrumpidamente. Para el año 2006, el 29 de junio un evento hidrometeorológico extremo (tromba de agua) provocó desprendimiento de peñascos, múltiples deslizamientos en la parte alta del volcán de Santa Marta, cuya arena y piedras se encauzaron en los arroyos que abastecen a la planta Yuribia. La devastación sobre los ecosistemas riparios fue aguda y el impacto sobre la planta impidió enviar agua a las ciudades por casi cinco días. Esto se sumó a los daños causados semanas antes por el huracán “Karl”. A pesar del impacto fue sorprendente que ninguna institución ni gobierno municipal de la sierra reportó los daños causados por el fenómeno (Robles 2008)

⁸ Censo de Población y Vivienda de 2010. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)

⁹ Desarrollo Comunitario de los Tuxtlas A.C. (Decotux)

Ubicación de la sierra de Santa Marta

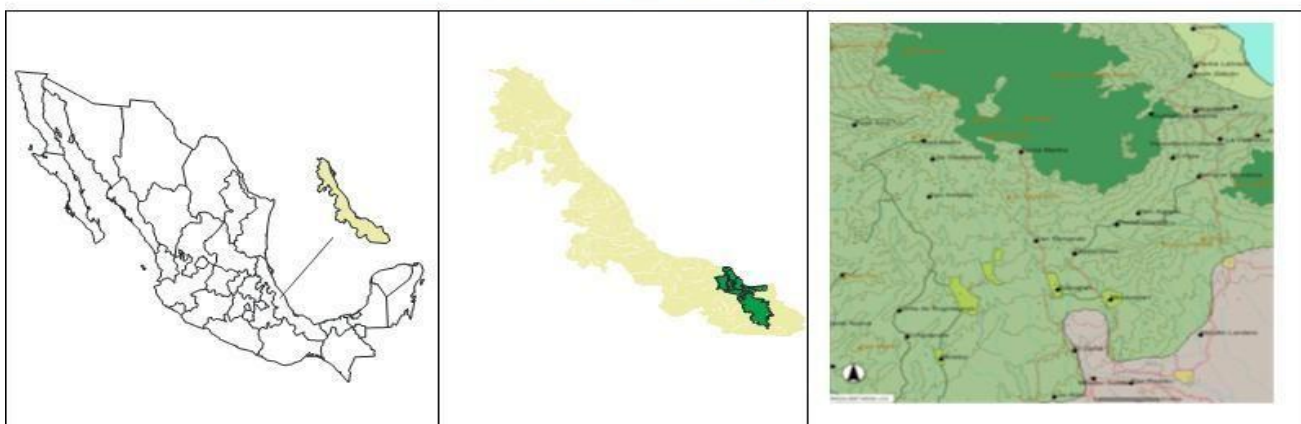


Fig.1.- Ubicación del Estado y la region de aplicación del modelo.

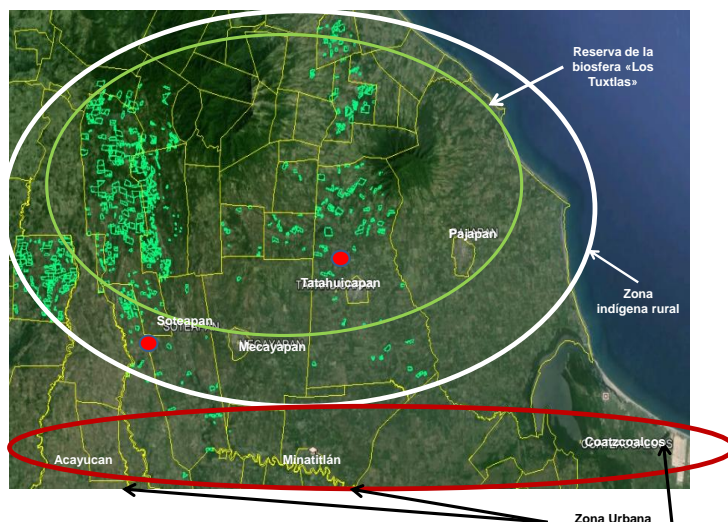


Fig.2.- Identificación de municipios y ciudades relacionadas con la zona serrana a través del abastecimiento de agua. En rojo aparecen municipios, en verde ejemplo no exhaustivo de diversas zonas de intervención rehabilitadora.

La organización comunitaria se puso en marcha con el desastre y, en coordinación con el equipo asesor visitó las zonas de desastre y elaboró un informe de daños, narrativo y con imágenes. En el informe se señalaron el diagnóstico realizado y las propuestas contenidas en él. El informe y la propuesta fueron tomados en cuenta por el director de desarrollo forestal que alentó la participación y apresuró la gestión de recursos del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN). El ejercicio de los fondos fue puesto bajo la responsabilidad del Subcomité de Cuenca, es decir, de las propias comunidades y sus asambleas¹⁰. Esto

¹⁰ Es importante reflexionar sobre lo “irreductible personal” de funcionarios que pueden orientar (y de hecho lo hacen) los mandatos institucionales en un sentido o en otro. En un contexto donde recursos de este tipo no están a disposición de organizaciones sociales o de la sociedad civil, el apoyo otorgado por el director forestal para que campesinos de once pueblos



obligó a generar una propuesta más sistemática para la restauración de las cuencas (Robles, Pacheco: 2007) que organizara las actividades con una perspectiva de impacto ecológico, pero también de participación y desarrollo. Así también se realizaron posteriormente estudios focalizados en las percepciones de impacto, expectativas de recuperación ecosistémica y modalidades de trabajo inicialmente preferidas e instrumentadas, incorporando también la percepción de los actores ciudadanos relativas a la sierra, y el abasto de agua (Pacheco y Robles 2008, Robles y Pacheco 2008, Robles y Pacheco 2013) El resultado es lo que los participantes conocen como “plan de manejo”, pero que en realidad es una propuesta de restauración con perspectiva de cuenca cuyo eje es la reconstitución de los complejos procesos que permiten la recarga de los mantos freáticos.

Luego de mas de 10 años de aplicación del modelo era necesario comprender en forma más profunda este proceso, generando elementos que permitieran entender alcances y limitaciones así como mejorar la definición de elementos comparativos en referencia a otros modelos a nivel nacional y regional¹¹.

El enfoque de evaluación y análisis se contextualiza en los siguientes tres ejes: a) giro decolonial, b) enfoque cognitivo c) perspectivas de emocionalidad situada.

Al referirnos al giro decolonial consideramos el punto de vista introducido por Mignolo, referido al concepto de lugar de enunciación en la construcción del conocimiento, y la forma en que los procesos de generación de conocimiento y formas de su legitimación están imbricados con los lugares desde donde dicho conocimiento se elabora (Mignolo 2007) Para dicho autor:

“Los lugares de enunciación generan, por un lado, las geopolíticas”del conocimiento en sus diversas y complejas relaciones con los diversos imperialismos occidentales (...) y, por otro, las condiciones para la toma de decisiones éticas, políticas y epistémicas para la descolonización del saber y la contribución a crear un mundo críticamente cosmopolita. (Mignolo 2003, p. 54). En nuestro caso interesa la aplicación de su concepto referido al conflicto que debido a dichos procesos pueden generarse en las interacciones entre comunidades e instituciones gubernamentales. Adicional a lo anterior recuperamos la reflexión de Hernández sobre el concepto de tercer espacio, espacio híbrido de Bahbha y el concepto de *blending* o espacio integrado de Faconnier y Turner. Este denominado tercer espacio híbrido se conformaría como un ámbito fluctuante que pone en cuestión la propia solidez de la dicotomía colonizador-colonizado en diversas instancias de subalternidad. En el campo lingüístico señala Hernández, el “*blending*” es una operación que permite permite rellenar el “vacío metonímico” provocado por “la disociación existente entre la experiencia que se tiene del lugar y la lengua de la que se dispone para describirlo”, disociación típica en diversos escenarios de conflictos y subalternidad. Así, la proyección metafórica, por ejemplo, sería de hecho un caso de *blending*, como también la categorización, la formulación de hipótesis, las inferencias o la analogía. Es decir, el *blending* daría cuenta de los procesos cognitivos que construyen un nuevo ámbito mental a partir de la proyección de los espacios ya conocidos. Este proceso que aparece en la mayor parte de los procesos cognitivos es de importancia crucial en el análisis de representaciones y expectativas mutuas en condiciones de tensiones y conflictos en ámbitos de transferencia de conocimientos, normativas (Hernández 2008: 199) Por esto la existencia de ese tercer espacio híbrido sería entendido no como un nuevo polo

(que habían formado cooperativas) manejaran dos millones de dólares, muestran la necesidad de considerar los elementos subjetivos que subyacen a ciertas decisiones.

¹¹ Para una lectura detallada del modelo integral de restauración , así como los conceptos de percolación y redes aplicados ver: Pacheco y Robles 2016, “ Complejidad, resiliencia y memoria. Aportes para la comprensión de un proceso integral de restauración ecológica en la Sierra de Santa Martha, Veracruz”, Proceedings of the Combioserve Conference, Community Conservation in Latin American: Innovations in research and practice. <http://www.global-diversity.org/wp-content/uploads/2016/02/PachecoAlejandraRoblesCarlos-COMBIOSERVE-ResilienciaVeracruzMexico.pdf>



estático sino como un ámbito fluctuante que pone en cuestión la propia solidez de la dicotomía antes citada.

En segundo término, retomamos algunos elementos vinculados al enfoque cognitivo aplicado a instancias del ámbito ambiental. Las razones por las que los ecosistemas requieren atención para ser restaurados y la forma en que dichas intervenciones fueron llevadas a cabo históricamente, han sido motivo de numerosos estudios (Miles 2013, Toner et al 2014, Pahl –Wohstl 2006). Los factores motivacionales individuales y grupales para este tipo de emprendimientos, los requerimientos de inversión para sostén a largo plazo así como los modelos de intervención, conforman una intrincada red que recientemente se está abordando en su conjunto, las poblaciones así como son responsables de perturbaciones antropogénicas negativas para las condiciones de un ecosistema, pueden también ser generadoras de efectos positivos con la adecuada asesoría técnica, acompañamiento y recuperación de sus saberes (Castillo et al. 2009, Porter Bolland et al. 2013, Del Amo Rodríguez 2012). Por ejemplo, Estrada Carmona et al (2014) revisaron 104 emprendimientos de conservación y restauración ecológica que incluían el concepto de “manejo integral” (ILIs “Integrate landscapes initiative”, ibíd pp.2), correspondientes a 21 países, desde México hasta Argentina. Observando: motivaciones, contextos, liderazgos y participantes, inversiones, grados de participación pública y privada, así como aspectos de duración y eficiencia. De sus resultados menciona que los grupos más frecuentemente involucrados son organizaciones de productores, campesinos o granjeros en 87% de las iniciativas, líderes de gobiernos locales en 86%, y Ongs en 78% de las iniciativas. Además por lo menos una organización internacional estuvo involucrada en 87% de las iniciativas. Solo 22% incluyó grupos de iniciativa privada de agronegocios, 20% industrias forestales, 7% otros agroindustrias. Por otra parte en el ámbito local, Durand Smith y Cedillo (2009) ha señalado las dificultades y el fracaso ocurrido cuando se intenta llevar articulaciones hacia la participación social, que trascienden las instancias puntuales académicas en los procesos de conservación: “Uno de los factores que provocó el fracaso del esquema proteccionista de conservación, propiciando la transición hacia formas más participativas en el cuidado de la biodiversidad, fue la enorme cantidad de discrepancias entre las autoridades de las reservas y las poblaciones locales en torno al uso y acceso a los recurso” (Durand Smith, y Cedillo 2009:337). Las reflexiones de Spray et al 2012 fueron orientadoras, dado que incluyeron el concepto de escenarios perceptuales integrales a nivel de individuos claves y grupos, para optimizar las estrategias de decisión; además de los tradicionales inputs de diagnósticos ambientales, económicos, demográficos. (Ibíd, pp. 308) Dentro de este enfoque recuperamos los siguientes aspectos: a) concepto de memoria selectiva de procesos, b) percepción de control y percepción de riesgo, desde este enfoque se considera que cada sujeto tiene la necesidad de controlar tanto su cuerpo como su entorno, y la pérdida de la creencia cognitiva de control produce sensación de indefensión o desestructuración cognitiva en diversos grados. De aquí que parte de los procesos relevantes vinculados a este enfoque perceptivo se relacionan con la capacidad de generar escenarios y predecir situaciones bajo cierto grado de incertidumbre. De modo que la predecibilidad de un evento induce un estado de control cognitivo del suceso y crea una representación mental en términos de lenguaje, cuya función será eliminar o disminuir la sensación de vulnerabilidad (López Parra 2010, Fuenmayor 2008) El ambiente nunca es neutro, “Un ambiente simbolizado, fruto de la actividad cognoscitiva del organismo, que constituye un modelo subjetivo del ambiente real (López Parra 2010: 7). Por último, llevamos en cuenta los conceptos de **cognición y emocionalidad situada**; en contraste con anteriores aportes orientados sobre los conceptos de la teoría de acción planificada o el modelo de activación de normas, y modelos asociados que intentan explicar las conductas proactivas o sosyenesbles como acciones deliberadas y efectivas hacia la protección de recursos naturales y culturales (Bonnes y Nonnaiuto 2002 Schumtz y Schultz 2002), para los nuevos enfoques cognitivos es necesario “hilar más fino” en el aspecto en que el ambiente (socialmente



construido) influye sobre individuos y grupos en referencia a diferentes factores en la construcción de las representaciones internas. En el ámbito local, Corral Verdugo et al (2009) mencionan la necesidad de valorar la construcción de emocionalidad ligada a los conceptos de altruismo, austeridad en actividades ambientales. En tanto otros autores como Gross, y Griffith enfatizan:

"the role of the environment as a scaffold, examples where we actively structure or use the appropriately structured environment as an "affective scaffold" in order to influence our emotional well-being abound. (...) The idea of active structuring is in fact crucial for strategies of emotion regulation (e.g., Gross, 2002). Griffiths and Scarantino (2009) also stress the role of the environment as an actively structured scaffold for our emotional engagement with the world. They reject both purely cognitivist accounts and neo-Jamesian "embodiment"-theories (e.g., Prinz, 2004), which in their eyes denigrate the environment to the mere location of the input to and the output of emotional responses (Griffiths & Scarantino, 2009, p. 437). A continuación, se presentan criterios metodológicos utilizados.

2.-MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño involucró una estrategia de **tres fases**: durante la **primera fase** se realizó un estudio focalizado en la evaluación de percepciones, expectativas, y representaciones referidas al impacto del modelo de restauración y a los procesos de interacción ocurridos durante su desarrollo, así como elementos adicionales relativos a dinámicas en referencia a la variabilidad climática y el uso de su entorno. Este enfoque fue aplicado en forma piloto para 4 ejidos fundadores del subcomité de cuencas y primeras históricamente integradas al proceso. En una **segunda fase** se aplicaría un aspecto complementario del modelo focalizado en los procesos de recepción, transformación-metabolización (en sentido lautiano) y modificaciones-innovaciones o rechazos respecto a los componentes del modelo, así como la revisión de experiencias históricas de otras prácticas de conservación. Para esto se ha diseñado un nuevo formulario calitativo-cuantitativo para aplicar técnicas de escalamiento multidimensional y minería de texto, así como un set de preguntas guías de corte etnohistórico. (Dicha fase está actualmente en curso). En una **tercera fase** se hará extensivo a otros ejidos participantes de incorporación más reciente el enfoque de las fases 1, y 2 así como se busca incorporar en un modelo de mayor complejidad y con el apoyo de un software de minería de datos de reciente adquisición una propuesta modélica que sea incluyente en sentido sincrónico y diacrónico, es decir considerando y ponderando diversas escalas del eje espacial, así como el eje histórico. La **primera fase** se halla concluida, por motivos de espacio presentamos a modo de ejemplo resultados parciales. Para ello, la metodología involucró un set de herramientas cualitativas y cuantitativas tales como: a) Observación participante en varios ámbitos, incluyendo asambleas de subcomité de Cuenca, acompañamientos de autoridades, líderes o integrantes de grupos de productores o vocales entre otros, b) entrevistas semiestructuradas a familias seleccionadas en los ejidos en estudio, c) Aplicación de una encuesta en los ejidos: Encino Amarillo, Ocotál Grande, Ocotál Texizapan, Plan Agrario. d) Entrevistas semiestructuradas a funcionarios de instituciones gubernamentales locales y estatales relacionados con la temática, e) Revisión hemerográfica. En el caso de la encuesta (aplicada a 381 sujetos a partir de 15 años de edad, se consideró como unidades de encuestas las familias superando en todos los casos de cada comunidad el 70%) se diseñó formulario conteniendo 5 secciones: a) primera sección se incluyen datos demográficos generales, de edad, sexo, origen, pertenencia religiosa, laboral, experiencia en cargo de autoridad civil o religiosa, experiencia de migración, tenencia de la tierra, formas de uso del suelo, entre otros; b) información de la pertenencia a organizaciones, y períodos de participación en el proyecto, en el ítem 5, y 6 se concentran los reactivos para evaluar forma de participación en el programa, y su percepción así como motivaciones y expectativas, ítem 7 se focaliza en aspecto cualitativos sobre fortalezas y elementos de debilidad del programa, y el ítem 8 remite a las



percepciones generales del entorno así como percepciones en relación a variabilidad climática. Se realizaron encuestas a participantes del programa y a aquellos no participantes que tenían interés en manifestar opiniones al respecto, realizando posteriormente filtros en consideración a estas características. En lo que refiere al análisis textual y discursivo se siguieron consideraciones de Fairclough (2008), y consideraciones de Sayago (2013). Se realizó geoposicionamiento de todas las familias encuestadas a los efectos de su integración en una segunda etapa de análisis con metadatos. En cuanto al análisis estadístico primario se realizaron: I) a) Descripción univariada de las variables incluidas en los cinco atributos descritos anteriormente. Con la intención de analizar las tendencias porcentuales en variables cualitativas, así como la distribución y variabilidad en las variables numéricas. tablas de frecuencias y estadísticas descriptivas (media, mediana, mínimo, máximo, desviación estándar y varianza). b) Análisis comparativo entre comunidades (Plan Agrario, Ocotál, Tezizapan, Ocotál grande y Encino Amarillo), sexo, migración (local, regional y nacional), cargos de autoridad civil, edad y pertenencia religiosa. Para este análisis se incluyeron los entrevistados que indicaron participar en el programa de restauración ecológica”. c) Análisis comparativo intra-comunidades (nahuas y popolucas). II) Etapa 2. Análisis de asociación entre pares de variables Prueba de independencia ji cuadrada, con objeto de establecer asociaciones entre las variables cualitativas (1. Conocimiento del programa y forma de participación, 2. Percepción del programa, 3. Evaluación del programa, 4. Percepción del estado ambiental de su comunidad y región y 5. Conocimiento e información de otros programas ambientales), en base al sexo, migración (local, regional y nacional), cargos de autoridad civil, edad y pertenencia religiosa y comunidades (Plan Agrario, Ocotál, Tezizapan, Ocotál grande y Encino Amarillo). Para este análisis se incluyeron los entrevistados que indicaron participar en el programa de restauración ecológica”. Se realizó una fase exploratoria de análisis multivariante, análisis de correspondencias múltiples, con el fin de representar las características de varias variables categóricas, que se halla en este momento en revisión debido a la sensibilidad de algunos de sus componentes.

3.-RESULTADOS

El orden de presentación de resultados se focaliza en primer lugar en los emergentes más destacados del análisis realizado para los participantes de las comunidades nahuas y popolucas citadas inicialmente, y en segundo lugar serán considerados elementos relativos a las percepciones desde las instituciones.

Emergentes del análisis global y tendencias generales.

En general es interesante observar que la mayoría de los entrevistados

Realizando un agrupamiento incluyente de todas las comunidades y considerando a los involucrados con experiencia en la participación en el programa, las tendencias más destacadas presentan los siguientes resultados : Una mayoría significativa tiene conocimiento del programa de restauración (68%), Independiente de la pertenencia a cada comunidad y de otras categorías todos los participantes directos tienden mayoritariamente a manifestar su acuerdo y considerar bueno el programa tanto en términos ambientales, como bueno para su comunidad en general. Por temas específicos: en lo que



refiere a la percepción general de comunicación y asistencia técnica, la mayoría de los participantes, independiente de la comunidad de pertenencia considera que la información recibida y comunicación con representantes comunitarios fue buena. Considerando observar los filtros por edad con la aplicación de análisis de asociación con ji cuadrado, no existe diferencia significativa en cuanto a la percepción general del programa en lo ambiental ($\chi^2 = 3.469$, $p = 0.469$) y en lo general para su comunidad ($\chi^2 = 9.805$, $p = 0.133$). Manifestando en ambos casos mayoría de respuestas favorables. Sin embargo la diferencia surge al considerar el ítem relativo a si el programa resuelve o no temas económicos generales. Allí, la percepción sobre si el programa resuelve problemas es diferente significativamente por edad de los entrevistados ($\chi^2 = 10.867$, $p = 0.004$). Los jóvenes tienden a considerar que no resuelve sus problemas económicos en tanto que esta percepción cambia hacia los adultos mayores. Aun con estos resultados las tendencias que observadas lo consideran bueno para la economía familiar, esta vez independiente de la edad. Entonces una conclusión que podría desprenderse de esto coincide con lo planteado inicialmente el programa puede percibirse como bueno y necesario ambientalmente y porque genera empleo temporal, aunque en términos económicos no suficiente. La evaluación relativa a la comunicación y asistencia técnica recibida tanto por intermediarios comunitarios como por técnicos de la asociación civil, no muestra diferencias significativas por edad, y las respuestas mayoritarias consideran ambos procesos como buenos. En el caso de la consideración por sexo, No se hallaron diferencias significativas en la percepción de hombre y mujeres referente a los resultados ambientales del programa, en ambos casos la tendencia mayoritaria es a considerarlo bueno. ($\chi^2 = 4.053$, $p = 0.131$). Y de igual forma se lo considera mayoritariamente bueno para su comunidad, sin diferencias por sexo. Los resultados de la prueba estadística ji cuadrada no muestra diferencia significativa en los resultados del programa cuencas por el sexo de los entrevistados ($\chi^2 = 2.179$, $p = 0.536$). Pero si se presenta un balance diferente al ponderar los diversos tipos de problemas que la aplicación del modelo podría resolver más allá de lo estrictamente ambiental, problemas es diferente significativamente entre hombres y mujeres ($\chi^2 = 24.402$, $p < 0.001$). Los hombres tienden a considerar que si resuelve problemas y las mujeres que no o solo parcialmente.

Considerando la experiencia de migración el análisis de asociación mostró, por ejemplo que no se encontraron diferencias significativas en la evaluación de los resultados ambientales del programa comparando por migración ($\chi^2 = 0.564$, $p = 0.754$). Observándose tendencia mayoritaria a considerarlo bueno. La percepción relacionada con si lo consideran bueno 'para la economía familiar aun considerando lo anterior, dio diferencia significativa entre las personas que migraron y los que permanecieron en su comunidad ($\chi^2 = 12.389$, $p = 0.006$). La tendencia mayoritaria es a considerarlo bueno con una mayor contribución desde las respuestas de los residentes que no migraron. Y La evaluación que realizan los entrevistados sobre la asistencia recibida no muestra diferencia significativa entre los entrevistados que migraron y los que permanecieron en su comunidad ($\chi^2 = 3.325$, $p = 0.344$). En ambos casos se muestra tendencia mayoritaria a considerar bueno el programa. En la consideración de otras variables, a pesar de haber incluido, como hipótesis inicial que liderazgo en organizaciones campesinas o mayor tenencia de tierras podría ser un factor que influyera en la participación y respuesta favorable al programa, a este respecto no se observaron factores de diferencia. Otro elemento a considerar correspondió a la percepción de los presidentes municipales en relación a su conocimiento del programa y a la receptividad del mismo y valoración del esfuerzo comunitario. En este ítem, en general la mayoría de los entrevistados consideran que los presidentes municipales no conocen el programa, y en cuanto a las actitudes recibidas, una mayoría considera que



independiente del conocimiento que puedan tener los presidentes municipales no apoyan esta clase de iniciativas en general y no apoyan el programa en particular.

En cuanto a las diferencias considerando la variable etnia, se destaca que si bien se comparte en términos generales las tendencias antes citadas, se observa que en lo que remite a si el programa resuelve problemas económicos, o de salud, por ejemplo, los jóvenes de las comunidades popolucas, las mujeres, y aquellos residentes sin experiencia de migración consideran que el programa no resuelve y es insuficiente. En tanto que en las comunidades nahuas la percepción de que el programa si resuelve problemas tiende a ser mayoritaria, y además en estas comunidades nahuas, el grupo de los no migrantes al contrario de los popolucas considera que el programa si resuelve problemas de la subsistencia en general. Si bien se han considerado otras variables como pertenencia religiosa, experiencia en cargos de autoridad, tipo de relación con organizaciones de productores, por ejemplo, hemos decidido acotar el análisis en esta primera presentación. De igual forma ocurre con los items más específicos de balance histórico, así como el referido a percepción de variabilidad climática y balance de la contribución del programa en este punto.

En lo que refiere a las instituciones gubernamentales y en particular al caso de los Ayuntamientos, destacamos que independiente de una discursividad donde se habla de la necesidad de acercamiento a las comunidades, hay una gran variación por nivel jerárquico del entrevistado, y por experiencia histórica en el cargo, así como para el caso de los presidentes municipales, la filiación política y tipo de redes extramunicipio juegan un factor importante para ponderar sus respuestas. Otro elemento presente conduce a observar, la importancia que cobran los factores de sujetos mediadores con los ayuntamientos, y su peso en la toma de decisiones y reorganización de procesos posteriormente en dinámicas intracomunitarias. A la vez el nuevo proceso que instituciones como sagarpa o conafor, tienen de canalización de intermediaciones con agentes externos (empresas privadas) para diversos tipos de tareas vinculadas a los programas que se ejercen en las comunidades, lejos de ayudar a la resolución de conflictos y de mejorar las sinergias con actividades de conservación generar muchas veces una especie de distancia, muro de contención y alejamiento para los habitantes comunitarios y en ocasiones enlentecimiento de procesos. Por otra parte desde las instituciones como CONANP, SAGARPA, CDI, entre otras, se valora sin embargo las posibilidades que presenta una modalidad de programa como el estudiado., considerando que se hace necesaria un tipo de organización compleja como el caso del subcomite de cuencas, en red y en acuerdo con otros estratos sociales para poder llevarlo a cabo. Manifiestan como algo común los siguientes factores de riesgo con respecto a la viabilidad de esta clase de modelos: a) la incertidumbre para la captación de fondos, su orientación y mantenimiento a lo largo del tiempo, b) inercias y competencias interinstitucionales que evitan los consensos, c) Heterogeneidad de capacitación, vacíos de personal y dificultades de comunicación intrainstitucionales, d) Heterogeneidad en la comunicación y receptividad considerando regiones y ejidos. e) dificultades para generar en un escenario de alta incertidumbre sinergias interinstitucionales que coadyuven a nuevas formas de gestión.

Considerando estos elementos de resultados parciales, preliminares, veremos algunos elementos conclusivos y de horizontes.

4.-DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como reflexiones iniciales sobre este punto, podemos yendo de lo más general a lo particular señalar que aunque el programa consiguió en algunos casos contribuir a detener flujo migratorio y brindar empleo temporal aunando prácticas de conservación y rehabilitación ecosistémica, no puede cubrir las expectativas de solución a problemas estructurales y demandas básicas de sobrevivencia, a pesar de la



inversión amplia destinada a resolver problemas ambientales de repercusión directa en el bienestar de los habitantes. Por otra parte la falta de inclusión en sinergias de políticas públicas más amplias, hace que su contribución sea de menor impacto en términos económicos directos.

Otro factor inherente a cada dinámica intracomunitaria corresponde al hecho de que la disponibilidad de tierras es gravemente escasa para una población de jóvenes crecientes, y las posibilidades de herencia involucra fraccionamientos cada vez más pequeños de tierra. Esto se presenta en forma dispar en cada comunidad y también es dependiente de arreglos particulares que pueden subsanar esta situación o de soluciones de empleo zafral dentro del Estado como paliativo a esta carencia. Por otra parte otro punto que resulta muy interesante para realizar un diseño que profundice en él corresponde a la percepción de parte de las mujeres en algunas comunidades, algo que no podemos generalizar diciendo "las mujeres" como un todo, porque el estudio muestra que percepciones, actitudes y motivaciones de cada sexo, dependen de las prácticas, costumbres y arreglos intracomunitarios. Un elemento que podemos aportar también es que las mujeres popolucas en relación a las nahuas, continúan manteniendo una mayor presencia en diversas tareas del campo, puede reflejar una diferente percepción en relación a programas y actividades desarrolladas. En todo caso, agregaría que es necesario considerar el análisis de cómo se llegan a acuerdos y arreglos familiares sobre el manejo de los recursos económicos y diversas formas de ahorro, y cómo en particular se han manejado los fondos derivados de los ingresos por los trabajos de restauración. Otro aspecto, es la diferente experiencia histórica de los residentes que no han tenido experiencia de migración y los recursos con que cuentan para desenvolverse en esa situación. Por ejemplo las posibilidades de ser contratados como mozos locales para tareas rurales son desempeñadas con más frecuencia por nahuas, así como prácticas de comercio y también manejo ganadero. Las diferencias interétnicas representan también un elemento importante aun cuando en las tendencias globales muestren una aceptación general sobre los beneficios ambientales del programa, por ejemplo las formas de relacionamiento y organización para el trabajo (solos, acompañados de familiares directos, miembros de familia extensa o de vecinos o generando otra modalidad de acuerdos intracomunidad con no familiares) así como las motivaciones y sus preferencias por subprogramas dentro del modelo de restauración, revelan elementos en lo que es necesario profundizar, porque es allí donde podemos observar algunos conceptos relacionados con elementos de apego, altruismo, competencias en el nivel cognitivo que expresamos inicialmente, así como en diferentes grados de simbolización de su relación con el entorno. Por otra parte los elementos de acuerdos para las actividades en esta clase de trabajos, muestran una realidad compleja e inestable con competencias y redefiniciones entre comunidades que pueden no expresarse en ciertos ámbitos intracomunitarios pero si hacerlo en otros ámbitos donde las posibilidades de libre expresión sin sanciones sean posibles. Es aquí donde también se hace útil retomar el concepto de veridicción como construcción de un lugar de verdad desde el cual se pueden enunciar y generar acciones. Dado que pueden existir múltiples enunciadores en competencia por una legitimación tanto desde las instituciones como intracomunitariamente, esa variable puede resultar un factor de riesgo alto en esta clase de procesos si no es adecuadamente ponderada. En esta fase preliminar consideramos aportar algunos elementos para una discusión que puedan ser enriquecidos en comparación con otras experiencias nacionales y regionales. El proceso actual continua con la segunda fase citada inicialmente, y con un escenario en el que se espera integrar nuevos niveles de análisis incorporando las sucesivas comunidades participantes en tiempos recientes, profundizando la discusión de las variables ya analizadas pero no citadas en esta oportunidad, así como incorporando nuevas herramientas en el ámbito de minería de datos y análisis institucional.

5.- AGRADECIMIENTOS



Se agradece la participación de los habitantes de las comunidades de Encino Amarillo, Ocotál Grande, Ocotál Texizapan, Plan Agrario. Así también la posibilidad de ser recibidos por los funcionarios participantes de instituciones como Conanp, Sagarpa, Sedema, CDI, Ayuntamiento de Sotéapan, Mecayapan y Tatahuicapan. Igualmente se agradece el intercambio reflexivo realizado sobre la temática postcolonial y decolonial así como otros temas etnográficos con el equipo de INAH-Xalapa bajo la coordinación del Dr. Manuel Uribe. La posibilidad de presentar en la Cátedra Unesco del agua, primeras líneas reflexivas de este estudio mediado por el Dr. Javier Taks, representante ante el grupo del Plan Hidrológico Internacional. Así como la reciente posibilidad de intercambio, reflexión y trabajo abierta por el Dr. Timothy Ingold, de Universidad de Aberdeen. Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo de Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y Fundación Gonzalo Río Arronte.

6.LITERATURA CITADA

- Durand Smith, L.; Ruiz Cedillo, J. 2009. Estaciones biológicas y participación social. La experiencia de la Universidad autónoma de México en los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ambiente e sociedade*, volXII, n°2, pp325-340.
- Durand Smith, L.; Lazos, E. 2008. The Local Perception of Tropical Deforestation and its Relation to Conservation Policies in Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Mexico. *Human ecology* 36, pp 383-394.
- Estrada Carmona, N.; Hart, H; De Clerck, FA.; Harvey, C.; Milder, J. 2014. Integrated landscape management for agriculture, rural livelihoods, and ecosystem conservation: An assessment of experience from Latin America and the Caribbean. *Landscape and Urban Planning*.
- Fairclough, N. 2008. El análisis crítico del discurso y la mercantilización de las universidades. *Discurso y Sociedad*, vol 2(1),170-185.
- García de León, A. (2011) *Mar adentro, Tierra en fuera: El puerto de Veracruz y su litoral a Sotavento*, 1529-1821. Editora de Gobierno de Veracruz-Universidad Veracruzana.
- Guevara, S. A 2010. *Los Tuxtlas Tierra mítica*. Edit Comisión Organizadora del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para la Conmemoración del Bicentenario de la Independencia Nacional y del Centenario de la Revolución Mexicana.
- Hernández, R.2008. Traducción y postcolonialismo: procesos culturales y lingüísticos en la narrativa postcolonial de lengua portuguesa. *Cartaphilus* 4 (2008), 198-201
- Paré, Luisa et al. ,1997, La Reserva especial de la Biosfera Sierra de Santa Marta: diagnóstico y perspectivas. SEMARNAP,. UNAM, México.
- Pacheco Mamone, A., Robles Guadarrama, A. (2014) "Complejidad, resiliencia y memoria. Aportes para la comprensión de un proceso integral de restauración ecológica en la Sierra de Santa Martha, Veracruz. Proceedings from the Combioserve Conference: *Estrategias de gestión comunitaria para la conservación de la diversidad biocultural* Coord: Global Diversity Foundation/ Seventh Framework Programm/INECOL.
- Velásquez, E. (2006). *Territorios fragmentados. Estado y comunidad indígena en el istmo veracruzano*. CIESAS-COLMICH.



Extenso ID: 325. Leticia Villalobos Sampayo y Guadalupe Mariana Pacheco Vázquez. EL EFECTO URBANO EN EL RÍO ATOYAC Y SUS CONSECUENCIAS EN LA VIDA RITUAL Y COTIDIANA EN UN CENTRO DE PEREGRINAJE.

[Regresar al índice](#)

Colegio de Antropología Social (CAS), Facultad de Filosofía y Letras (FFyL) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

Afiliación autor 2: Estudiante del CAS, FFyL, BUAP.

Abstract: El río Atoyac atraviesa el estado de Puebla y en su recorrido pasa por la localidad de Santa Cruz Tejalpa (allí recibe el nombre de río Tejalpa) lugar donde existe un santuario en honor al Cristo de Tejalpita y centro de peregrinaje. A mediados del siglo XX el afluente era perenne y proveedor de alimentos, fuente de irrigación de cultivos, tenía uso generalizado en las actividades domésticas y en el aspecto ritual gozaba de cualidades terapéuticas. Nuestro objetivo es mostrar cómo en los periodos de peregrinaje: el 3 de mayo, el 3° y 5° viernes de Cuaresma varias hermandades realizan rituales asociados al agua y el río es un espacio sacralizado pese al grado de contaminación que tiene. La disciplina antropológica nos permite realizar el análisis del uso social del agua y el componente simbólico que tienen el río Tejalpa para los peregrinos y los habitantes del lugar. Después de varias estancias de trabajo etnográfico en la comunidad, concluimos que el río es parte de la cosmovisión y del mito fundacional del santuario. También es apropiado desde distintas perspectivas (instrumental y simbólico), por lo tanto es un medio de subsistencia para las comunidades rurales y centro de construcción de referentes identitarios y religiosos.

Introducción:

Durante una estancia de trabajo de campo etnográfico en la localidad de Santa Cruz Tejalpa 11, nos percibimos de la importancia social que tiene el río para los oriundos del lugar y los miles de peregrinos que llegan a ese centro de peregrinaje. Es por esta razón que el año 2015 iniciamos este proyecto de investigación sobre la peregrinación y el vínculo del Señor de Tejalpita con el agua del río. Para lograr los resultados, realizamos trabajo de campo y observación participante, encuestas, entrevistas estructuradas y semiestructuradas, registro fotográfico, consulta de archivos eclesiásticos y hemeroteca. Así como análisis de textos sobre cuencas hidrográficas y antropología de la religión. Cabe resaltar que lo más enriquecedoras fue la convivencia con los peregrinos que llegaron 2015-2016 y las entrevistas con los oriundos de Tejalpa, quienes nos compartieron los cambios del uso del río en un lapso de treinta años. Los datos empíricos nos condujeron a cuestionarnos cómo la contaminación del río Atoyac, un suceso trágico cambia la perspectiva de las prácticas en la localidad y de los peregrinos, y, pese a ellos, el mito fundacional para muchos se relaciona con el agua y por lo tanto es agua milagrosa bebible.

Cuencas y el río Tejalpa

Las cuencas hidrográficas son unidades morfológicas superficiales, cuyos límites se establecen por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones, también conocida como parteaguas. Éste, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero opuestas, desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja (2006, El agua en México: lo que todas y todos debemos saber, p. 22). Las cuencas hidrográficas como unidades del paisaje sumamente útiles para el manejo de sus recursos hidrológicos, ya que constituyen embudos naturales que permite coleccionar agua de lluvia que cae sobre grandes extensiones de terreno. Sin embargo, hasta principios del siglo XIX se reconoce la utilidad de cuencas hidrográficas mediante investigaciones científicas, la descripción y el entendimiento de procesos físicos, químicos y biológicos como estructurantes del ecosistema natural.



Debido a su topología, hacen que el agua drene a un punto común, esto permite aislar de manera eficiente los flujos de entrada de agua al ecosistema y al mismo tiempo podemos tener un mejor conocimiento de los flujos de salida. Las cuencas tienen un carácter jerárquico, está formado por sub-cuencas, las que a su vez, están conformadas por otras cuencas aún más pequeñas lo que permite trabajar a diferentes escalas espaciales (Mass y Cotler, 2007, pp. 41-42, 46).

La depresión del río Balsas o Austral tiene en promedio, unos 800 km de largo por 120-200 km de ancho. Se encuentra limitada por la cordillera Neovolcánica, al norte, la Sierra Madre del Sur, al poniente y sur, y la Sierra Madre de Oaxaca, al oriente. La cuenca se divide en tres zonas hidrológicas principales: cuenca de los ríos Atoyac y Mixteco o del Alto Balsas, cuenca del río Amacuzac y cuenca del Medio y Bajo Balsas (Cancino, 2004, pp. 47-48). El río Atoyac se forma a partir de los deshielos que descienden, desde altitudes superiores a los 4 000 m del flanco oriental del volcán Iztaccíhuatl, en los límites de los estados de México y Puebla. En su recorrido recibe varias aportaciones relevantes por una y otra margen. Como son los ríos Nexapa, Mixteco, Acatlán, Zahuapan, Alseseca y otros (Saldaña y Gómez, 2006, s/p). La cuenca del río Alto Atoyac se encuentra ubicada en la Región Hidrológica 18, está conformada por 69 municipios (22 en el estado de Puebla y 47 en el estado de Tlaxcala) y confluyen en la Presa Manuel Ávila Camacho o Valsequillo (PADHPOT, 2012, p. 18).

En los últimos años se han realizado diferentes estudios en cuanto a la calidad del agua del río Atoyac y de las zonas de impacto a su alrededor. El análisis del riesgo y las condiciones que representan las descargas son resultado del deterioro producido por la expansión demográfica (Sandoval, Pulido-Flores, Monks, Gordillo y Villegas, 2009, p. 880), la industria, la economía y una política escueta. Regina Montero, investigadora del departamento de Toxicología Ambiental y Medicina Genómica de la UNAM aseguró en 2010 la relación directa entre los tóxicos encontrados en el río y las enfermedades o "catástrofes ambientales" responsabilidad de las industrias localizadas en el Corredor Industrial Quetzalcóatl, ya que a través de sus descargas se genera la contaminación de los ríos (principalmente) el Atoyac¹². En el marco de la "Estrategia de atención a la problemática ambiental del Río Atoyac", en 2015 la Profepa realizó 592 visitas de inspección y verificación a empresas e industrias establecidas en la cuenca de ese río. De éstas, 298 se hicieron en Puebla y 294 en Tlaxcala, finalmente se clausuraron 27 industrias.¹³ Pese a la contaminación de larga duración del Atoyac, en la década de 1990 algunas familias originarias de Tejalpa pescaban en el río y durante los procesos festivos de Quinto Viernes de Cuaresma los peregrinos de San Gabriel Chilac "echaban sus atarrayas" para luego disfrutar de pescados fritos. Luego llegaría el cólera y posteriormente el envenenamiento de peces por los químicos urbanos y una serie de medidas prohibitivas para el consumo de agua y la pesca en las dos últimas décadas cuando las políticas sobre el agua están "en la vanguardia". El testimonio del señor dice lo siguiente:

También en la ocasión de los peces me tocó verlo, había muchos peces muertos en la orilla. Anteriormente los de la peregrinación de Chilac traían sus redes y pescaban, desde esa vez también se prohibió pescar (J. Pacheco Vázquez, entrevista, 02 de mayo, 2016).

El santuario de Tejalpa y el río

La comunidad de Tejalpa se encuentra situada en el municipio de Tehuiztingo, Puebla y forma parte de la región mixteca. Tejalpa, resalta principalmente por sus prácticas religiosas asociadas al ciclo cuaresmal y por el peregrinaje con flujos continuo con asistencia de grupos étnicos popolocas, mixtecos y nahuas. El Señor de Tejalpa es reconocido como dador de lluvia y protector de las enfermedades. El 3 de mayo es la fiesta patronal del pueblo y el 3er. viernes de cuaresma la afluencia de peregrinos es menor comparada con el 5º viernes de cuaresma. La fiesta patronal en honor a la Santa Cruz con la presencia menor de peregrinos y comerciantes es promovida actualmente por los inmigrantes. El 3er. viernes llegan hermandades procedentes de la ciudad de México y el movimiento comercial no es tan relevante como lo es para el 5º viernes de cuaresma. En esta última fecha los



peregrinos procedentes de del sur del estado de Puebla, el norte de Oaxaca, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos y Guerrero y en menor medida de Michoacán, Guadalajara, Estado de México, Toluca y Distrito Federal sacralizan el lugar con procesiones, bandas, imágenes y estandartes. Podremos decir que ésta es la fiesta para “los del pueblo”, en la que las redes de migrantes¹⁴ de Estados Unidos de Norteamérica cooperan para el gasto ritual del festejo lúdico: el jaripeo. Mismo que integra a los peregrinos que llegan en ese día a quienes se les debe mostrar gratitud porque ellos vitalizan el intercambio de mercancías (Villalobos y De la Torre, 2016, s/p.) y el radio devocional del señor de Tejalpita.

El santuario es un lugar que se transforma en espacio sagrado por la experiencia de los sujetos que se apropian de él. Michel de Certeau, señala que la hay “tantos espacios como experiencias espaciales distintas” (De Certeau, 1996, p. 130) y efectivamente eso sucede en la comunidad de Tejalpa que se convierte en una referencia que indica tiempo y dirección para los actos rituales. El santuario, el río, las capillas, las cruces, los cerros, las barrancas y las calles cobran un significado cuando llegan peregrinos de distintos lugares de la república a visitar al Señor de Tejalpita y adquieren de él, un referente religioso identitario para convertirse en “tejalpo”: un devoto que rinde culto multisituado al Cristo Negro dador de lluvia y protector de la agricultura.

El santuario de Tejalpa, se asocia con advocaciones cristológicas de color negro entramadas en un parentesco sagrado con las de Chalma y Otatitlán, en México, y con la de Esquipulas, venerada en Guatemala, como centros de culto distantes (Villalobos, 2015, pp. 57) y el Cristo de Tlacotepec con los que también se hermana. De hecho, “el territorio devocional del Cristo de Tlacotepec se refuerza mediante el circuito de peregrinación cristológica de características fenotípicas de diferentes gamas, entre los colores blanco y negro, que se realiza los viernes de Cuaresma. El primer viernes de ese periodo se celebra en Tlacotepec y Todos Santos Almolonga. De Tlacotepec hay grupos que peregrinan a Tepeji de Rodríguez (segundo), Santa Cruz Tejalpa (tercero)¹⁵, Tehuitzingo (cuarto), San Pablo Anicano (quinto), Chalchicomula de Sesma (sexto) y Acatzingo, para el Viernes de Dolores (séptimo). Además de ir el tercer viernes a Tepalcingo, Morelos¹⁶” (Villalobos, 2015, p. 149) y podemos decir que viceversa, Tejalpa se fortalece por personas procedentes de áreas que también tienen santuarios¹⁷.

El santuario genera intercambio de productos regionales y su entorno se convierte en un gran mercado para vendedores locales y foráneos. Algunos tejalpeños ha incursionado como prestadores de servicios: regaderas con agua tibia, sanitarios, zonas para acampar y estacionamientos en sus terrenos, y adaptación de cuartos de sus viviendas para rentar. Sin duda, lo anterior, no podría suceder sin considerar que el santuario es objeto de una ‘densificación significativa’, un centro cósmico, vital para el grupo, que tiene un imaginario sobre él y que lo ha dotado de sentidos y de poderes terapéuticos, mágicos y de efectividad y confianza (Barabas, 2006, p. 65) que tiene su origen y razón de ser en un lugar, unos hechos y unos objetos que son interpretados como religiosos por la fe de una comunidad, y que permanecen como centro del atractivo que experimentan unos devotos que se hacen peregrinos ocasionales o habituales (Díez, 1995, p. 16). Maldonado señala, que en el santuario se conjuntan las ideas de tiempo y espacio, puesto que recoge los movimientos astronómicos, los ciclos agrícolas y los calendarios litúrgicos (Díez, 1995, p. 17).

En Tejalpa, como en muchas poblaciones, “la agricultura en torno al maíz permite una relación constante con la naturaleza y produce profundos efectos sociales e ideológicos observables en la organización social, la cosmovisión y la especificidad cultural de los pueblos indígenas. No sólo ha sido el alimento básico de las sociedades indígenas y campesinas, además, ha generado simbolismos, prácticas rituales e identidades (Gámez, 2015: p. 8). El carácter del peregrino y el espíritu de peregrinación (Díez, 2003, p. 274) mantiene el poder de la imagen y origina los procesos de



peregrinaje. Por otro lado, es a través de los ritos donde se reproducen los elementos centrales de orden religioso (González, 1990, p. 75) aunado a la difusión de la hierofanía del Cristo y sus características terapéuticas a través del relato oral que incluye su contraparte o el sentido dual del Cristo como causante de daño si no se le venera de acuerdo a su jerarquía.

Efectivamente, en el santuario observamos una práctica religiosa y al “definir la religión como un sistema ordenado de significados, valores y creencias a través de los que los individuos y grupos definen el mundo. La dimensión cultural de la religión conduce a entenderla como sistemas símbolos, productos de la habilidad inequívocamente humana que consiste en asignar significados [que] se revela, en consecuencia, como expresión fundamental de los valores de una sociedad, valores que la sociedad misma trata de salvaguardar apelando a las sanciones sobrenaturales” (Cantón, 2009, pp. 17, 19) se explica el por qué hay un interés y cuidado en cumplir las promesas que se le hacen a la imagen, la continuidad del peregrinaje en las nuevas generaciones y el rol ritual de algunas comunidades durante los tres periodos de peregrinaje. Como parte de ese sistema religioso, los mitos relatan el origen del culto a las imágenes. Por ejemplo, el mito fundacional del santuario de Tejalpa tiene dos personajes centrales: Una mujer pobre, devota a una cruz que habitaba en la Jiotillera, un lugar que se ubica al lado noreste del río y un hombre que pide posada, quien hace el tallado de la imagen de Cristo Negro que luego desaparece dejándola en la cruz de madera (Entrevista Juan García, 19 de julio de 2015 entrevistado por Leticia Villalobos Sampayo). Otra versión señala que el Cristo fue traído de otra comunidad, según un dato obtenido en el archivo de parroquial de Tehuiztingo (Juárez, 2008, p. 123). Sea cual fuere el origen, lo que interesa señalar que los habitantes crearon un templo, un lugar significativo donde se concentran y se cruzan simbólicas eclesásticas y comunitarias que permiten elevarlos al rango de espacios sagrados (Giménez Béliveau, 201, p. 53).

También es necesario señalar que el mito fundacional se relaciona con el espacio del cauce hidrológico. En la actualidad, La Jiotillera está en un pequeño valle formado por aluviones del agua que escurre de los cerros que la circundan y de las corrientes del río. La Jiotillera es el lugar de un parteaguas del ecosistema, un lugar rodeado de cactácea irrigada por las aguas del río, por lo tanto un lugar propio para la hierofanía cristológica. Por otro lado, en las representaciones sociales existen entes que cuidan el río. Sus características se asocian a los tlaloques, dioses de la lluvia y de las tempestades prehispánicas. Los tlaloques, no vivían en los cerros: eran los mismos cerros personificados. Entre los dioses de la lluvia se encuentran: Tláloc y los tlaloques (seres pequeños para producir lluvia); Chalchiuhtlicue, la diosa de los ríos, las fuentes y la laguna; Huixtocihuatl, diosa de la sal y el agua salada; Ehecatl dios del viento y sus ayudantes Ehecatontin (o vienteitos); Matlalcueye, Iztaccíhuatl, Popocatepetl y otros cerros deificados y Opopochtli o Nappatecuhtli con advocación a la laguna. El culto de esos dioses se relaciona con la fiesta de la siembra que corresponde al mes de abril-mayo y marcaba la transición entre la estación de seca y lluvias llamado Huey toziztli. Seguida de 40 días con la que se celebraban las aguas pluviales o etzalcualiztli que corresponde al mes de junio en la que se comía por primera vez en el año “la comida del manjar de frijoles” o etzalli considerada un lujo. Los rituales formaban parte del culto a Tláloc y se asocian al reforzar el proceso de productividad (Broda, 2003, p. 63).

Broda (2003, p. 15) señala que durante los primeros años de colonización las fiestas de la gente común se centran en el proceso de producción agrícola y el culto a la fertilidad (las fiestas de los dioses de la lluvia y del maíz), así como la producción artesanal y el culto a los dioses patronos de los oficios.

El culto a la lluvia, del maíz y de la tierra expresaban elementos fundamentales de la cosmovisión prehispánica; abarcaba un conocimiento práctico y una filosofía de la naturaleza. Estos ciclos rituales transcurrían a lo largo del año solar en estrecha relación con los ciclos climáticos y el medio ambiente



IV CONGRESO
NACIONAL

MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

natural. Son estos últimos aspectos de la ritualidad donde encontraremos la mayor continuidad histórica (Broda, 2003, p. 16).

Los ritos agrícolas prehispánicos, antes parte del culto estatal, se transformaron en cultos campesinos locales que se trasladaron, fuera de las ciudades, al paisaje: los cerros, las cuevas y las milpas. En muchos casos se volvieron rituales clandestinos y adquirieron una importancia nueva como vías de expresión de la identidad étnica que los indios fueron obligados a ocultar (Broda, 2003, p. 16).

El calendario de culto al Señor de Tejalpa se relaciona con el ciclo agrícola de la zona. La cuaresma y mayo son en la región, los periodos para solicitar lluvia para la siembra.



De agua curativa a agua contaminada

Hablar de río no es algo simple para los peregrinos, pues conlleva diversas prácticas. Es donde ellos descansan, conviven con la familia, pasan un tiempo de romance con la pareja, se bañan, lavan su ropa, colectan agua para preparar la comida y calmar la sed. Para los habitantes de Tejalpa, el río representa una fuente de contaminación por las descargas de los drenajes, pero también un afluente para el riego del campo y herramienta de predicción para el buen temporal. Para los peregrinos y lo tejalpeños, el agua del río oscila entre curativa por ser propiedad del señor de Tejalpa y maligna por ser fuente de enfermedades gastrointestinales.

Al respecto el señor Teófilo comenta:

El agua era curativa, nosotros llegábamos cansados y nos íbamos a bañar. Nosotros nos metíamos llenos de ampollas y salíamos bien. Una vez yo fui testigo de que me metí cansado y con ampollas, y salí sin nada y sin cansancio. Ahora como desemboca toda ahí, si nos bañamos (pero ya no con confianza) después nos vamos a dar un regaderazo (T. Pacheco Vázquez, entrevista, 02 de julio, 2016).

En el caso de don Teófilo, el agua aún tiene esencia curativa, pero ya no se meten todos los peregrinos porque ven el agua contaminada por el drenaje y las descargas industriales. El brote de cólera acaecido en la década de 1990 fue reconocido por el sector médico como el “tejalpazo” porque cientos de peregrinos se enfermaron. Las autoridades sanitarias llegaron a la conclusión de que las aguas frescas que vendían en la feria de 5° viernes estaban hechas con agua del río. Durante la epidemia, varias personas en Tejalpa fueron atendidos por la enfermera Amelia García y unos cuantos doctores. Muchos más percibieron los síntomas a llegar a sus casas. Como le sucedió al señor Jorge Pacheco quine nos cuenta su experiencia:

Yo tomé agua de los puestos y me dio cólera. Yo manejo la camioneta que va cuidando a los peregrinos. Recuerdo que ese día salimos y yo me regresé a comprar un agua fresca en los puestos y me fui tomando mi agua. Allá en San Lorenzo me puse mal y mi compadre Teofilo Pacheco me dijo que me fuera al hospital porque en Tejalpa había cólera. Las aguas frescas las hicieron con agua del río (J. Pacheco, entrevista, 02 de mayo, 2016).

Varios peregrinos señalan que la filtración del agua en el río prevenía las enfermedades.

Cuando pasó lo del cólera nosotros aquí estábamos pero no nos tocó. Mucha gente se enfermó porque nada más iban a traer agua al río y eso no pasaba antes porque nosotros hacíamos hoyitos y de ahí tomábamos agua (P. Reyes Suarez, entrevista, 02 de mayo, 2016).

Doña Carmelita habitante de Tejalpa, nos comparte su experiencia respecto al cólera y señala la continuidad de los atributos del agua del río como curativa asociada al culto del Cristo de Tejalpita.

Mucha gente se enfermó, estaban mal. Entonces ya nos dijeron que no debíamos tomar agua del río, sólo pura agua hervida. Y ahora tomamos pura agua hervida. La ponía a hervir el agua en un bote grande y la echamos a un tambo y ahí vamos tomando, pero pura agua hervida desde entonces. Pero no recuerdo en qué año sería, la verdad.

Ya después nos dijeron, ahora agua hervida no la pueden que tomar. ¡Ahora que tiene que ser de garrafón, que porque esa viene purificada o qué sé yo! Y pues como nos asustan que si no nos vamos a enfermar, pues ahora estamos tomando pura agua de garrafón. Y como también nos



prohibieron pescar, antes comíamos pescado, ahora no, no nos alcanza para comprarlo. Hubo un tiempo que hasta prohibieron irse a bañar al río porque está contaminada el agua, que no se podía meter. Pero los feligreses, digo yo en la feria tanta gente que se baña, pobrecitos. Como ellos vienen con la fe de que el Señor los sana con el agua del río. ¿pues quién sabe si les haga daño? Si vienen con el amor del Señor de Tejalpa [y] vienen con esa fe, de que si se bañan en el río le sanan sus males que traen (Manuelita, entrevista, 12 de octubre, 2016).

La situación fue tan grave que se prohibió el consumo de agua sin hervir y la pesca, a la vez se impulsó un cambio social en la comunidad cuando se introdujo el agua potable y el río dejó de ser necesario para el consumo humano, el uso doméstico y de ocio para los habitantes de Tejalpa. Para los peregrinos fue un cambio económico quienes “Ahora tienen que comprar agua para su consumo, pagar el agua para bañarse y \$ 5.00 por una cubeta de agua para asearse.

Las señoras se organizaban para ir a lavar la ropa, los niños se iban a bañar. En el 86 recuerdo que íbamos a lavar al río y estaba el chilundo, (chilunda si eras niña, chilundo si eres niño) era que te bañabas encuerado. Ahí andábamos encuerados todos los niños en el agua, aquí ya hasta como los 14 que te desarrollabas ya te cuidabas. En el río jugábamos a las ollitas, hacíamos hoyos en la arena (E. Méndez, entrevista, 25 de octubre, 2015).

Los peregrinos y habitantes de Tejalpa nacidos a mediados de los años 60 (primera generación de peregrinos corporados) con el agua curaban todos los males. Sus descendientes (o la segunda generación) perciben al agua como un don curativo del Señor de Tejalpa, pero que la misma mano del hombre no supo aprovechar este beneficio y contaminó el agua. Sin embargo, están en el dilema si el agua sana o te enferma. Debido a las prohibiciones higiénicas derivadas de la contaminación del afluente, ya no beben y aunque nadan en el río luego se bañan con agua potable. La tercera generación (la de los nietos) respetan la ideología de sus abuelos sobre el poder del el agua curativa. Sin embargo, el agua del río es un líquido que no sana y sólo añoran las convivencias y actividades que realizaban en el río. A continuación exponemos algunos párrafos de entrevistas que nos narran los cambios y usos del afluente de Tejalpa.

Cuando nosotros venimos siempre bajamos a nadar al río, casi toda la gente bajaba a nadar. Anteriormente tomábamos agua del río, a un lado de donde pasa el río hacíamos unos agujeros y traíamos agua para hacer el almuerzo, eso fue hace 30 años (F. Aguilar, entrevista, 02 de mayo, 2016).

Nosotros llegamos el miércoles y hasta el jueves nos bañamos porque el cuerpo viene caliente, antes nos bañábamos en el río, pero ahora con tanta cosa y el drenaje ya no, ya nos vamos a las regaderas” (T. Pacheco Vázquez, entrevista, 02 de mayo, 2016).

Hasta la fecha creen que es milagrosa el agua del río. Nos ha tocado oír varias hermandades que dicen que es milagrosa, se van a bañar y la toman para sanarse (Don Carmen, entrevista, 25 de octubre, 2015).

Las prácticas y la perspectiva en torno al río son cambiante. Los factores económicos, políticos, religiosos y socioculturales se entrelazan y se ven modificados. “La situación actual llevada al largo plazo plantea escenarios alarmantes que deben ser atendidos, antes de enfrentar situaciones que pongan en peligro la salud e, incluso, la vida de la población” (Rodríguez & Morales, 2001, pp. 144-145). Hasta esta localidad llega la contaminación de la ciudad de Tlaxcala y de Puebla, todas las descargas industriales y domésticas que recoge el río en el transcurso de su recorrido como sucede en Santa Cruz Tejalpa.



La gestión de los gobiernos con distintos niveles de competencia en el control de la contaminación es muy deficiente. Para los municipios, el aspecto ambiental no es prioritario; el gobierno estatal no resiste la presión de la industria que no quiere incrementar sus costos, y el gobierno federal no tiene la capacidad de vigilar el cumplimiento de descargas en cuerpos de agua de jurisdicción federal (Rodríguez & Morales, 2001, p. 145). Aunado a ello, la Ley de Aguas Nacionales (LAN) no ofrece una definición de lo que significa el tratamiento del agua, a pesar de que en varios artículos se hace mención de este concepto. Así, en el artículo 88 bis se establecen las obligaciones de las personas físicas o morales que efectúen descargas de aguas residuales a los cuerpos hídricos receptores, ya sean corrientes o depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas, etc. Entre esas obligaciones se encuentra el tratamiento de agua residuales antes de ser vertidas en los cuerpos hídricos receptores, así como mantener en buen estado las obras e instalaciones del sistema de tratamiento de aguas, para asegurar el control de la calidad de dichas aguas antes de ser descargadas. (2006, El agua en México: lo que todas y todos deben saber, p. 52).

La contaminación del río altera al medio ambiente, salud y aspectos socioculturales, tenemos que unir esfuerzos, trabajar en un proyecto multidisciplinario, involucrando el sector público y privado, pero también tenemos que concientizarnos, somos actores sociales, nuestros actos tienen consecuencias. Debemos exigir a las autoridades hagan cumplir las leyes y normas establecidas para el cuidado del agua, que es el líquido vital de nosotros y sobre todo mirar hacia el uso ritual y la cosmovisión como la posibilidad de crear estrategias que involucren a los habitantes de los centros urbanos como Puebla y Tlaxcala, pues desde esas grandes ciudades la contaminación llega a lugares alejados como Tejalpa, pero también detener la contaminación del “pueblo elegido por Dios” para que suspenda y clausure los drenajes. Pese a todos los cambios en la política hídrica del Estado de Puebla, existe un uso sagrado y simbólico del agua como lo hemos expuesto en este artículo y creemos que la cosmovisión respecto al culto en el santuario, el río y los lugares que comprenden la ruta procesional puede detonar un cambio social y revitalización de la cuenca del río Atoyac.



Río Tejalpa, julio, 2015



Exvoto del Señor de Tejalpa, julio 2015.



IV CONGRESO
NACIONAL

MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO



Santuario de Santa Cruz Tejalpa, 2015



Interior del Templo, al centro Señor de Tejalpita,

Agradecimientos

Damos las gracias al Doctor Manlio Barbosa Cano, director de la Fundación Manlio Barbosa y al Doctor Oscar David Valencia López, secretario de la fundación Auxiliamos la Familia A.C. quienes tienen interés por los proyectos sociales y de investigación como el que hemos realizado.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y al Colegio de Antropología Social, instituciones a las que pertenecemos y a la Dra. Alejandra Gámez, directora del proyecto Cosmovisión y Fiesta Religiosa en “las Cholulas”, (San Pedro y San Andrés), Puebla. Registro ID Proyecto 00137 de la Maestría en Antropología Social del CAS-BUAP .

Agradecemos a Zayra García y toda la familia García, por recibirnos en su casa. A la Junta Eclesiástica por su apoyo y permitirnos analizar los Libros de Hermandades y a los peregrinos de San Lorenzo, San Gabriel Chilac, Molcayac, Coatzingo y Cuayuca de Andrade, Puebla.

Damos las gracias a los organizadores del IV Congreso Nacional Manejo de Cuencas Hidrográficas y a todas las Instituciones que colaboraron para hacer posible este evento.

Bibliografía:

- Broda, Johanna (2009) Las fiestas del Posclásico a los dioses de la lluvia en Arqueología Mexicana Dioses de la Lluvia, 16°. Aniversario, Vol. XVI. Núm. 96 (pp. 58-63).
- _____(2003). La ritualidad mesoamericana y los procesos de sincretismo y reelaboración simbólica después de la conquista. Graffylia, 1(2), 14-28.
- (2006) El agua en México: lo que todas y todos debemos saber. México: EMDA, FEA, National Wildlife Federation, Presencia Ciudadana, Alianza Mexicana Nueva Cultura Del Agua, Fundación Heinrich Böll, Tfi.



- Cantón Manuela, (2009). La razón Hechizada. Teorías antropológicas de la religión. España: Ariel antropológica.
- De Certeau, Michel (1996). La invención de lo cotidiano I. Artes de hacer. México: Universidad Iberoamericana, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores en Occidente, Centro Francés de Estudios Mexicanos y Centroamericanos.
- Gámez, Alejandra (2015). Prólogo. En Leticia Villalobos Sampayo. El territorio devocional. El Cristo Negro: dador de lluvia en Tlacotepec de Benito Juárez. México: Ed. BUAP-FFYL-Conacyt.
- Giménez, Verónica. (2015). Catolicismo, identidades y movilidades desde el Cono Sur. Miradas desde Argentina. En Garma Navarro, Carlos & Ramírez Morales, María del Rosario (coords.) (2015). Comprendiendo a los creyentes: la religión y la religiosidad en sus manifestaciones sociales. Primera ed. México: UAM-I.
- González, José Antonio (1990). Territorio y ruido en la fiesta. En La fiesta, la ceremonia, el rito. (Coloquio Internacional del 24 al 26 de noviembre de 1987, Granada, Palacio de Madrazo), España, Ed. Casa de Velázquez/Universidad de Granada, pp. 63-78.
- Juárez, Guadalupe (2008). La construcción simbólica del santuario en su aspecto procesional en una comunidad de La mixteca poblana. Tesis para obtener el grado de Licenciada en Antropología Social: CAS-BUAP.
- PADHPOT Programa de Apoyo al Desarrollo Hidráulico de los Estados de Puebla, Oaxaca y Tlaxcala, Reporte final (2012). México: UNAM.
- Rodríguez, Lilia & Jorge A. Morales (2011). Contaminación e Internalización de costos en la industria Textil. En Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM, vol. XXI, núm. 1, enero-junio, pp. 143-169. Universidad Autónoma de Tamaulipas Ciudad Victoria, México.
- Saldaña, Fabela Pilar, Ma. Antonieta Gómez Balandra, (2006), Caracterización de fuentes puntuales de contaminación en el Río Atoyac, México.
- Villalobos Sampayo, Leticia (2015) El territorio devocional. El Cristo Negro: dador de lluvia en Tlacotepec de Benito Juárez. México: Ed. BUAP-FFYL-Conacyt.
- Villalobos Sampayo, Leticia y Eduardo de la Torre García (2016). El Señor de Tejalpa y los peregrinos de Santo Niño Macuila San Andrés Cholula. Ponencia presentada en XIX Encuentro de la Red de Investigadores del Fenómeno Religiosos en México “Creencias y prácticas religiosas en el contexto de la movilidad espacial” realizada del 1, 2 y 3 de junio en la ciudad de Tlaxcala, México.
- Otras fuentes
- Cancino, Miguel Ángel, (2004), Desarrollo sustentable del Balsas. Recuperado de <http://www.economia.unam.mx/cedrus/descargas/15sep2003.pdf>, acceso 28.08.2016.
- Clausuran 30 empresas por contaminación de río Atoyac. En Vanguardia. Recuperado de <http://www.vanguardia.com.mx/articulo/clausuran-30-empresas-por-contaminacion-de-rio-atoyac>



- De la Redacción, Clausuran 27 industrias de la cuenca del río Ayoyac en Puebla y Tlaxcala. En La Jornada, lunes 7 de diciembre de 2015. Recuperado de <http://www.jornada.unam.mx/2015/12/07/sociedad/044n1soc>
- <http://www.agua.org.mx/index.php/noticias/not-nacionales/13934-rio-atoyac-provoca-cancer-en-pobladores-de-tlaxcala-y-puebla->, acceso, 15.058.2014.
- <http://www.agua.org.mx/index.php/noticias/not-nacionales/13934-rio-atoyac-provoca-cancer-en-pobladores-de-tlaxcala-y-puebla->
- Mass Manuel y Cotler Helena (2007), El protocolo para el manejo de Ecosistemas en cuencas Hidrológicas. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/528/protocolo.pdf>, acceso 28.08.2016.
- Río Atoyac: provoca cáncer en pobladores de Tlaxcala y Puebla. En Agua. org.mx. Centro virtual de información del agua. Recuperado de
- Sandoval, Villasana, Ana María, Griselda Pulido-Flores, Scott Monks, Alberto José Gordillo Martínez y Elba Cristina Villegas Villareal (2009), Evaluación fisicoquímica, microbiológica y toxicológica de la degradación ambiental del río Atoyac, México. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-1844200900120000), (acceso 28.06.2016).

Entrevistas

Don Carmen, entrevista, 25 de octubre, 2015.

Elizabeth Méndez, entrevista, 25 de octubre, 2015.

Fermín Aguilar, entrevista, 02 de mayo, 2016.

Jorge Pacheco Vázquez, entrevista, 02 de mayo de 2016.

Petra Reyes Suarez, entrevista, 02 de mayo, 2016.

Teófilo Pacheco Vázquez, entrevista, 02 de julio, 2016.



IV CONGRESO
NACIONAL

**MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Mesa 7. Impacto de las actividades humanas sobre las cuencas.



Extenso ID: 177. Esther Galicia Hernández. UNA MIRADA HISTÓRICA DE LAS AFECTACIONES-IMPACTOS AL SISTEMA HÍDRICO DE LA MICROCUENCA DE LA CIUDAD DE PUEBLA. Siglos XIX y XX.

[Regresar al índice](#)

^a B. Universidad Autónoma de Puebla, ICSyH, 2 Oriente 409, Centro Histórico, Puebla (México)
email: ednadia1210@hotmail

RESUMEN

En este trabajo se visualiza a través del tiempo el impacto diferenciado de acciones antropogénicas sobre el sistema hídrico (entendido como la interacción agua superficial y agua subterránea) de la microcuenca del río San Francisco o de la ciudad de Puebla. Paralelamente se describe la función primordial e histórica que ha tenido el volcán Malinche en el funcionamiento de este sistema y las consecuencias de las afectaciones a su ecosistema de bosque. El trabajo se estructuró a partir de considerar-analizar el agua superficial-subterránea desde una perspectiva ecosistémica-ambiental, integral (relación naturaleza-sociedad) e histórica. En primera instancia se hizo un reconocimiento de las diferentes zonas (recarga, tránsito y descarga) de los sistemas de flujos de agua subterránea que se inscriben en el territorio de estudio, definiendo la función de cada una de estas zonas tomando como base la Teoría de Sistemas de Flujo de Agua Subterránea (Tóth, 2000) e identificando algunos rasgos tangibles de la relación con la red hidrográfica de la microcuenca de río San Francisco. Para este fin se retomaron algunos estudios del período Colonial y de finales del siglo XIX a través de los cuales se identificaron manifestaciones ambientales superficiales de los sistemas de flujos subterráneos y algunos cambios de uso del suelo-vegetación. Para periodos recientes, específicamente la segunda mitad del siglo XX, se hizo el seguimiento de diferentes estudios (Lesser, INEGI y SOAPAP, 1982) para ubicar-visualizar las zonas con mayor afectación por perforación de pozos y los usos a los que se destinó el agua; a través de una serie de datos temporales se visualizaron cambios significativos en los caudales de pozos del Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla (SOAPAP), particularmente algunos localizados al norte de la ciudad de Puebla. Los impactos al sistema hídrico de la microcuenca han sucedido por diversas causas, en diferentes momentos, formas y lugares del territorio-microcuenca, pero el conjunto de acciones antropogénicas causantes han generado una afectación profunda del funcionamiento del sistema a nivel superficial y subterráneo; en general resultado del dominio de modelos económicos-productivos depredadores, políticas públicas de gestión del agua y territorio parciales y desarticuladas.



Palabras clave: Sistemas de flujo, agua subterránea, zona de descarga, territorio, ecosistema, ambiente

1 INTRODUCCIÓN

Una situación que ha dificultado la gestión del agua en México es la forma en la que se ha entendido/entiende el funcionamiento del sistema hídrico y su territorio-cuenca. Al agua superficial generalmente se le ha visualizado separada del agua subterránea (y sí, cada una tiene características y determinantes particulares, y una función específica dentro del sistema hídrico, pero no son independientes) y por lo tanto sus componentes fundamentales y sus funciones se han analizado desconectados, además y como consecuencia, se han disociado-desconocido procesos y factores ecosistémicos-ambientales determinantes para entender el funcionamiento de este sistema-unidad. Por otro lado, los procesos de planeación del agua y su territorio han estado dominados por visiones-intereses socioeconómicos alejados de la propia naturaleza y funcionamiento del agua subterránea-superficial. El resultado ha sido la generación de políticas públicas hídrico-territoriales desintegradas y parciales que han agudizado los problemas del agua en las diferentes cuencas de México.

A partir de la década de los setenta se realizaron en la subcuenca Atoyac-Zahuapan, en la cual está inserta la microcuenca del río San Francisco (Galicia, 2015), diversos estudios geohidrológicos cuya finalidad generalmente fue detectar la ubicación de unidades acuíferas importantes que garantizaran el desarrollo-reconversión industrial en la subcuenca. La mayoría de los estudios fueron realizados en diferentes años por empresas privadas a petición de organismos públicos vinculados con la gestión del agua y ordenamiento territorial (Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión Nacional del Agua, Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla, etc.) para “fundamentar técnicamente” la viabilidad de extraer agua subterránea con el fin de consolidar-impulsar planes y proyectos de “modernización” industrial en sus principales centros urbanos o en sus periferias inmediatas (destacando las ciudades de Puebla, Tlaxcala y San Martín Texmelucan).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca de Puebla se ubica al suroeste del volcán Malinche, en cuya ladera nacía el río San Francisco. Este río fue alimentado fundamentalmente por la escorrentía pluvial y el deshielo de las capas de nieve de la gran montaña. Producto de estos escurrimientos superficiales se formaron



diversas cárcavas, reconocidas comúnmente como barrancas, de las cuales todavía actualmente se pueden identificar algunas: CapixatlAtl, El Santuario, Xaltonatl (Figura 1).

La ladera suroeste de la Malinche conforma la zona alta de la microcuenca, la cual está constituida por abanicos aluviales y piroclásticos que se denominan Formación Tarango (T). Son extensos depósitos estratificados granulares, que también contienen suelos y gravas fluviales y están compuestos predominantemente por vulcanitas del Cuaternario las cuales son permeables y por su posición topográfica elevada, por arriba del nivel de saturación, funcionan como zona de recarga de las unidades acuíferas subyacentes (Geotecnología / SOAPAP, 1997: 31 y 60). En la parte media-alta fue en donde se produjo preponderantemente la infiltración de agua pluvial y la que resultó del deshielo de la nieve acumulada en los sitios más altos del volcán, las cuales originaron los flujos de agua subterránea que descargaron en la planicie en la que se fundó la ciudad de Puebla. Esta parte de planicie baja de la microcuenca funcionó (y aunque con cambios diferenciados, sigue funcionando) como zona de descarga de flujos locales, intermedios y regionales (Galicía, 2015: 46). Estudios realizados en el pasado por historiadores y cronistas de la Colonia ya destacaban la importancia de este estratovolcán en el funcionamiento del sistema hídrico superficial y subterráneo de la microcuenca.¹²

¹² Algunos estudios del territorio poblano, fundamentalmente los realizados a finales del siglo XIX y principios del XX, reconocían la importancia de la Malinche en el funcionamiento del sistema hídrico superficial, pero también ya se tenía un importante conocimiento en relación a los flujos subterráneos: “La Malintzin, cuya estructura superior es arenosa, y que está asentada en una capa arcillosa, impermeable, constituye un inmenso filtro; de manera que buena parte de la precipitación pluvial es absorbida por la primera capa, a través de la cual y siguiendo el perfil de la segunda, desciende hasta el valle de Puebla, en donde al encontrarse las protuberancias basálticas de los cerros de Amalucan, Guadalupe, etc., que la obligan a salir de la superficie, forma los manantiales que se encuentran en la base de la colina”. Enrique Palacios opinaba al respecto: “El único reparo que puede hacerse a lo anterior, en esencia exacto, sería que no es la montaña sino Puebla la que tiene en partes de su subsuelo capas arcillosas, pues la Malintzin descansa en las calizas cretácicas comunes a toda la Mesa, entre las cuales se abrieron paso las efusiones de andesitas y corrientes de lava que forman la montaña, según hemos visto al tratar de la orografía. Las arcillas, producto parcial de las devastaciones de las rocas efusivas, han sido arrastradas por erosión y depositadas en los sitios que hoy ocupan”. (Palacios, Tomo I: 157)

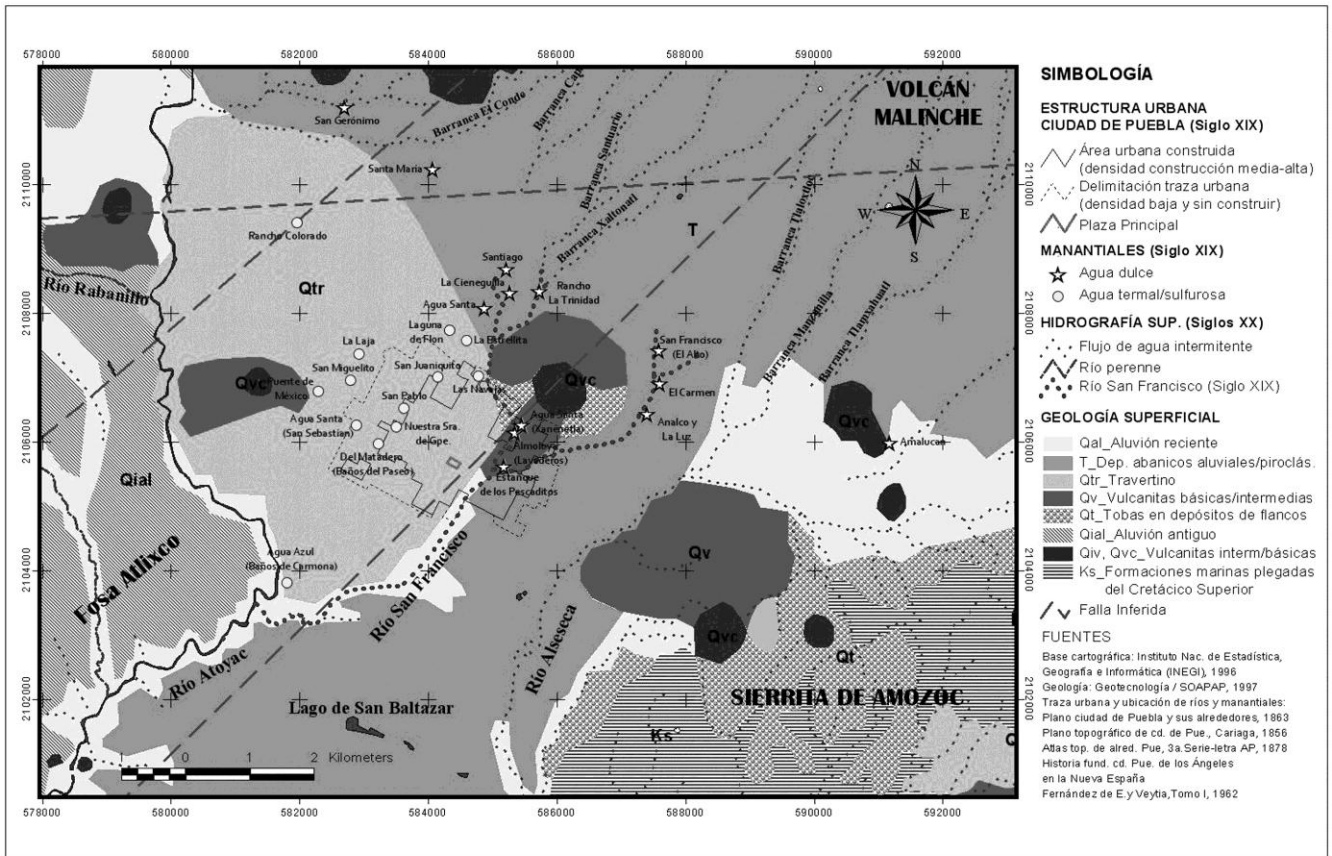


Figura 1. Geología superficial y manifestaciones ambientales superficiales de los sistemas de flujo de agua subterránea inscritos en la microcuenca del río San Francisco: manantiales de agua dulce y termal/sulfurosa. Siglo XIX. (Tomada de Galicia, 2015: 44)

Los extensos abanicos piroclásticos y aluviales de la Malinche han impactado de manera particular la zona en la que se ubica la ciudad de Puebla, pues un gran abanico de Formación Tarango (T) se prolongó hacia esta parte de la planicie (al oriente del río San Francisco), favoreciendo la conductividad hidráulica, es decir, posibilitó la circulación de importantes flujos de agua subterránea provenientes de las partes altas y medias del volcán hacia las partes bajas de la planicie. La presencia de pozos someros al oriente del río San Francisco durante la Colonia fue posiblemente resultado de tal condición, a la cual hay que sumarle los flujos originados en la Sierrita de Amozoc (Galicia, 2015: 44). Algunas de las características físico-químicas que identificaron esta agua subterránea (dulce y delgada), son indicadores que permiten suponer que el agua de los pozos someros procedía de flujos locales.¹³

¹³ “[...] El barrio de Analco que careció del beneficio de agua corriente hasta el año de 1759, abasteciéndose de la de pozos que en él cavaron desde el establecimiento de las primeras familias de indios que allí se avecindaron [...], teniendo distante la agua de la Ciudad y el río de por medio, se abastecían de la de los



En esta microcuenca se pueden observar claramente diferentes escalas de funcionamiento del sistema hídrico, especialmente del agua subterránea, e identificar su distribución-impactos diferenciados en el territorio. A partir de esta presencia diferenciada del agua se definen en general dos zonas naturales características de la microcuenca. Estos dos espacios bien definidos en el territorio poblano, especialmente durante la Colonia, tienen rasgos particulares asociadas con la calidad del agua y la geología superficial. El Río San Francisco conformó la frontera natural, la línea divisoria aproximada entre estas dos zonas características (Figura 1).

La primera, la de agua sulfurosa que emana en la zona de travertino (Qtr) de la planicie de Puebla es producto de flujos intermedios y regionales que corresponden a una escala de funcionamiento que rebasa la delimitación de la microcuenca de Puebla, motivo por el cuál en este trabajo no fue considerada para su estudio. La segunda, la zona de manantiales de agua dulce, está localizada al finalizar el piedemonte suroeste de la Malinche, sobre el eje en donde se localizan los cerros de Loreto, Guadalupe y Amalucan. Estos manantiales, la mayoría localizados en las riberas del río San Francisco o sus afluentes que bordeaban dichos cerros, conformaron el caudal base de éste, es decir, que sus aguas fluían y descargaban naturalmente en algunos puntos de su cauce nutriéndolo constantemente y en períodos de estiaje hicieron posible que siguiera fluyendo.¹⁴ El caudal base del río San Francisco fue incrementado por los escurrimientos subterráneos que descargaron en partes bajas de la planicie de la ciudad de Puebla, especialmente en sitios en donde el nivel freático coincidió con el nivel del suelo dando origen a humedales/ciénagas (por ejemplo, en lugares como el Estanque de los Pescaditos y los Lavaderos).

El agua dulce que fue utilizada para consumo de la población hasta mediados del siglo XIX, fue tomada preponderantemente de manantiales propiedad de la municipalidad de Puebla. De acuerdo con el trabajo de Toxqui (2011), que abarcó de 1855 a 1883, había seis (sitios de) manantiales del Ayuntamiento destinados para uso público-urbano: Cieneguilla, Agua Santa o Trinidad (nueve pequeños “ojos de agua”), Santiago (dos manantiales), El Carmen o Rementería, La Luz-Analco y San Francisco (cuatro “ojos de agua”).¹⁵ Los manantiales generalmente fueron reconocidos con los

pozos, bien que en los más de ellos la hallaron dulce, delgada y de buena calidad [...]”. (Fernández de Echeverría y Veytia, Mariano, 1962: 269).

¹⁴ “Se consideraba que el río de San Francisco-Atoyac nacía propiamente de las estribaciones de la montaña llamada Malintzi en el estado de Tlaxcala y se formaba por las barrancas de Actipac, Xaltona, Santuario, San Aparicio y Huayatla o Guadalupe, que pasan respectivamente por los pueblos de Resurrección y San Francisco y por los ranchos de Los Leones, Guadalupe, La Piedad y La Trinidad. Desde este último punto toma ya propiamente el nombre de río de San Francisco, cerca del rancho la Trinidad, donde [...] aflora dentro del cauce un pequeño manantial a partir del cual principia a llevar aguas permanentes”. Archivo Histórico del agua (AHA), caja 4354, exp.57803. Cita tomada de Loreto, R. 2009, p.52

¹⁵ Posteriormente, a finales del siglo XIX y principios del XX, Enrique Palacios (aproximadamente en 1917) también señaló 6 manantiales (aunque en su lista no aparece el de Santiago) que “abastecen de aguas potables



nombres de los barrios o inmuebles a los que abastecían, o bien, por el lugar en el que se localizaban. Estos manantiales de agua dulce se ubicaban en las “faldas de los cerros” de Loreto y Guadalupe, como se mencionó anteriormente. Los sitios alrededor de dichos cerros conformaron la zona de descarga de flujos locales de agua subterránea más importante de la microcuenca durante el período Colonial y su zona de recarga fue la ladera suroeste de la Malinche (Figura 1). Los manantiales de agua dulce a los que se ha hecho referencia, sirvieron para el abastecimiento de los habitantes de la Puebla Colonial, esto debido fundamentalmente a su altitud con respecto a la ciudad, su importante número y caudal, y sobre todo, la excelente calidad del agua.

Las características físicas y químicas del agua son parámetros que permiten señalar que estos manantiales fueron producto de flujos locales de agua subterránea, es decir, con temperaturas de frías a templadas, bajas en sales o dulces (valores bajos de sólidos totales disueltos STD), y suaves (bajo contenido de carbonato de calcio), entre otros (Tóth, 2000 y Peñuela y Carrillo, 2013). Estudiosos de la química de finales del siglo XIX, a partir de los análisis realizados a muestras de agua de varios de los manantiales mencionados, reportaron que su temperatura era variable y no muy inferior a la atmosférica (en la ciudad de Puebla la temperatura media anual es de aproximadamente 17 oC) y en relación al valor de sus componentes químicos eran consideradas aguas “notablemente puras”, por lo cual las clasificaron como potables.¹⁶

A partir de la asociación del agua de dichos manantiales con datos hidrogeoquímicos derivados de estudios relativamente recientes (Agrogeología-SRH,1973), específicamente con resultados de análisis de agua de los pozos P267 y P263 registrados por la empresa Agrogeología S.A. en 1973, se puede establecer que las características hidrogeoquímicas de los manantiales dulces que abastecieron a la Puebla Colonial, corresponden aproximadamente a las características del agua de los flujos locales que alimentaron a dichos pozos (aunque éstos fueron perforados en sitios de mayor altura con respecto al lugar en el que se ubicaban los manantiales Cieneguilla y Trinidad o Agua Santa). En general estos pozos registraron, de acuerdo con la clasificación utilizada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), agua poco dura (dureza total de P267=140 mg/L y P263= 132 mg/L); también registraron una baja concentración de bicarbonatos (P267= 185 mg/L y P263= 166 mg/L) y un reducido contenido de STD, es decir, es agua dulce (P267= 162 mg/L y P263= 238 mg/L). Su patrón hidrogeoquímico es representativo de las aguas

a la capital del estado, aprovechados de tiempo antiguo los de la Cieneguilla, Trinidad, La Luz, el Carmen, Amalucan y San Francisco.

¹⁶ “[...] Han sido analizados por el doctor Manuel Vergara, quien halló sus aguas notablemente puras. El profesor Mariano Cal, químico distinguido de Puebla, con fecha 14 de marzo de 1850, practicó un análisis de las aguas de la Cieneguilla, obteniendo el siguiente resultado: Productos sólidos: sulfato de cal, carbonato de cal, carbonato de magnesia, carbonato de sosa, azoato de potasa, silicato de sosa, cloruro de sodio, siliza, alúmina. Tratados por el oxalato de amoníaco acusan cal; por el azoato de plata, cloruro, con pocos precipitados. Repútalas muy notables. Análisis más completos, de fechas recientes, confirman la potabilidad de las aguas, pues su residuo fijo es menor de 0.30; su porción de ácido sulfúrico, inferior a 0.03; más baja que 0.04 la de cloro y que 25 el grado hidrotimétrico”. Palacios, p.125



bicarbonatadas-cálcicas. A pesar de que la profundidad total de estos pozos alcanzó el nivel de los depósitos lacustres del Plioceno (su profundidad total fue: P267=200m y P263=100m), los análisis reportaron una dureza total baja, por lo que se deduce que no fueron flujos que circularon a través de formaciones de calizas profundas (o fueron recorridos muy cortos), sino que fueron producto de flujos locales cuya recarga se produjo preponderantemente en los abanicos piroclásticos y aluviales (T) de la Malinche (Galicia, 2015).

Perspectiva histórica de la producción de los manantiales de agua dulce y el ecosistema de bosque Malinche. Finales siglo XIX y principios del siglo XX

La captación de agua de manantiales en 1883 (*Cieneguilla, Trinidad o Agua Santa, Santiago, San Francisco o El Alto, La Luz, El Carmen o Rementería*) era de 9,108, 720 litros/día, este volumen de agua servía para abastecer a 75,000 personas que habitaban en la ciudad de Puebla en 1884 (Toxqui, 2011). Unas décadas más tarde, a principios del Siglo XX, se logra incrementar el caudal captado para extender la cobertura de agua potable, Enrique Palacios describe esta situación:

“Abastecen de aguas potables a la capital del estado, aprovechados de tiempo antiguo los de la *Cieneguilla, Trinidad, La Luz, El Carmen, Amalucan y San Francisco*. Casi todos estos veneros aparecen en la zona Norte de la ciudad, detenida la corriente subterránea que los alimenta y la cual procede de las infiltraciones de la Malinche, por el dique basáltico de Amalucan, Loreto y Guadalupe [...]. Su rendimiento no pasó de 100 litros por segundo, durante largos años; de los cuales 76.50 litros/segundo correspondían a Trinidad y la Cieneguilla (con mucho, los más ricos de los veneros), según mediciones de los ingenieros Pedro Senties y Miguel Espino. [...] Los manantiales de *Rementería*, adquiridos por el Ayuntamiento posteriormente, aumentaron en 65 litros por segundo el caudal de las antiguas aguas. Las nuevas obras de abasto (1907-1910) elevaron a 340 litros por segundo la cantidad retenida por todos los veneros, es decir, algo más de 29,000 metros cúbicos diarios [29 millones litros/día], dotación actual del municipio [1910] (Palacios, 1982: 125 y 126).

Un proceso que se desarrolló simultáneamente al aprovechamiento de manantiales de agua dulce del norte de la ciudad de Puebla durante la Colonia fue el proceso, aún sin retorno, de la deforestación de la Malinche; a pesar de ello hasta principios del siglo XX, se puede suponer, había una cubierta boscosa que permitió la recarga de importantes flujos de agua subterránea que alimentaron los manantiales arriba señalados. Una perspectiva histórica de la afectación al bosque de la Malinche se encuentra en la siguiente descripción:

“A dos leguas [8.38 Km aprox. del zócalo, en línea recta hacia el volcán, hasta la curva de nivel 2300 msnm] de la Ciudad, por el nordeste, comienzan las dilatadas faldas de la famosa sierra de Tlaxcala, pobladas de arboledas que como ya dije, es tradición constante



que cuando se fundó la Ciudad se unían con las del cerro Bethlem. [...] A siete leguas [29.33 Km] de la Ciudad, por el nordeste, está el monte del Pinal [corona de la Malinche], llamado así por estar poblado de pinos, y más inmediato a ella en distancia de poco de más de una legua [4.19 Km], por el este, están otros dos cerro llamados de Amalocan, [...]. Si estos cerros en lo antiguo, como es muy verosímil, abundaron de maderas, el día de hoy están des poblados [finales del siglo XVIII]” (Fernández de Echeverría y Veytia, 1962: 215 y 216).

La regular captación de agua pluvial (asociada a un ecosistema de bosque, aún robusto) que se llevó a cabo en la Malinche durante la Colonia, fue la que hizo posible el destacado desarrollo económico y social de Puebla durante prácticamente todo ese período (Loreto, 2009). La importantísima función como zona de recarga de flujos de agua subterránea y regulador de la escorrentía de agua superficial, actualmente ha disminuido notablemente por el crecimiento urbano, la deforestación y erosión del suelo del gran estratovolcán.

3 RESULTADOS

Afectaciones y subsistencia del sistema hídrico de la microcuenca de la ciudad de Puebla (segunda mitad del Siglo XX)

A partir de las últimas décadas del siglo XX el sistema hídrico de la microcuenca de Puebla sufrió profundos cambios debido fundamentalmente a las políticas de desarrollo económico-industrial y a las formas de urbanización asociadas. Especialmente el norte de la ciudad fue impactado por el rápido crecimiento de la estructura urbana, producto del establecimiento de grandes zonas industriales (Fracc. Industrial Resurrección, Parque industrial 5 de Mayo y Puebla 2000) y por la construcción de diversos tipos de infraestructura, destacando la vial, con la Autopista México-Puebla (Galicia, 2015: 39).

Han sido varias las alteraciones graves que ha sufrido el sistema hídrico en general, sin embargo, a nivel de la red hidrográfica superficial, el entubamiento del río San Francisco, a principios de la década de los sesenta, constituyó una de las más graves y esto no solo porque modificó definitivamente su funcionamiento, sino porque alteró drásticamente los ecosistemas asociados a su existencia, entre ellos a la misma ciudad de Puebla (ecosistema construido). El funcionamiento del agua subterránea también sufrió cambios profundos, especialmente durante las décadas de los setenta y ochenta, años en los que se produjo una perforación masiva de pozos profundos y una extracción intensiva de agua del subsuelo del norte de la ciudad, aproximadamente en la franja del piedemonte de la Malinche, interceptando de esta manera importantes flujos de agua dulce de buena

calidad que llegaban a la planicie poblana. Algunos de estos pozos se perforaron muy próximos a los sitios en donde emanaban los manantiales de agua dulce que abastecieron a la Puebla Colonial (Pozo Cieneguilla y Rementería, por citar sólo algunos de los más importantes de la zona mencionada). Sin embargo, hasta la mitad de la década de los ochenta, la mayoría de pozos profundos se había perforado en partes más altas, generalmente próximos a las cárcavas (barrancas) formadas por la escorrentía pluvial y el deshielo de la gran montaña o en las riberas de los ríos y sus afluentes (Figura 2).

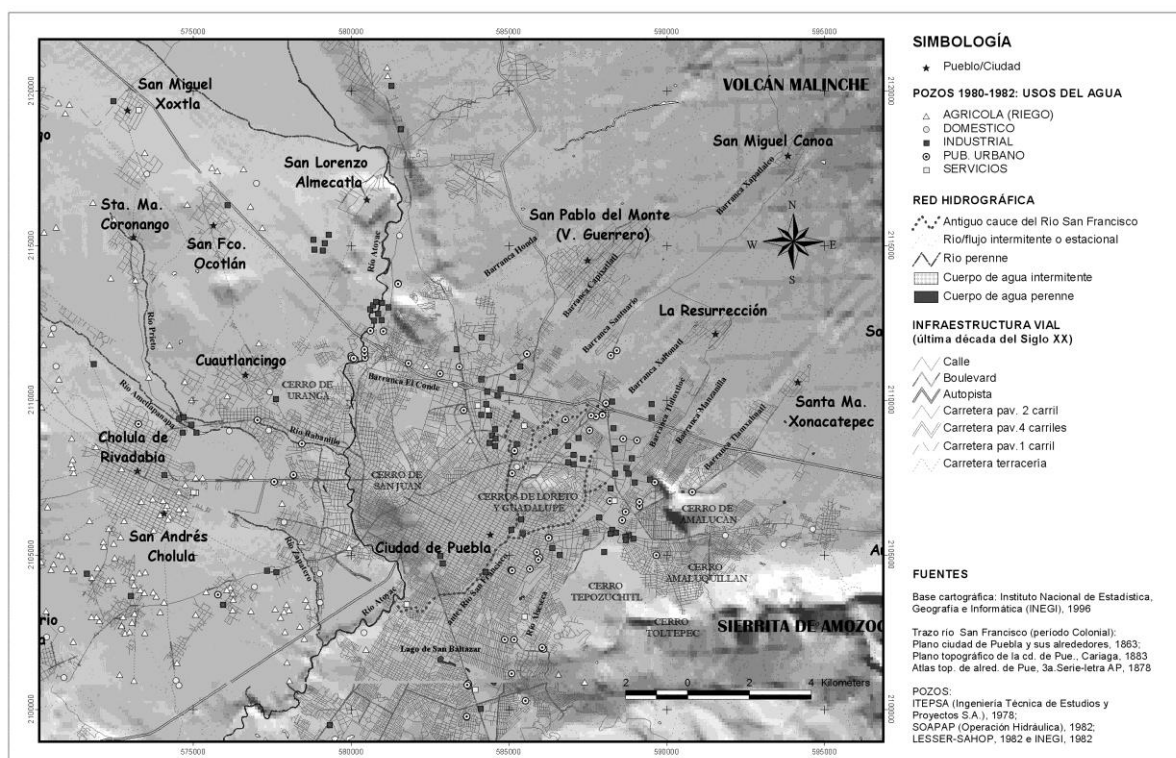


Figura 2. Crecimiento urbano-industrial sobre zona de descarga de flujos locales de agua subterránea. Ubicación de pozos para usos: público urbano, riego agrícola, industrial, servicios y doméstico en la ciudad de Puebla y zona conurbada entre 1980-1982.

Uno de los impactos más notables sobre el sistema hídrico subterráneo de la microcuenca, producto de todas las afectaciones mencionadas, fue la considerable disminución de los caudales de pozos. En la figura 3 se puede visualizar esta tendencia en algunos de los pozos profundos del SOAPAP ubicados en el norte de la ciudad de Puebla. Los caudales registrados a principios de la década de los ochenta muestran una reducción significativa en el gasto de prácticamente todos los pozos al iniciar el Siglo XXI (SOAPAP, 2002). Especialmente algunos de los pozos más productivos sufrieron una baja considerable en su nivel de producción: México 68 (de 76 litros/segundo a menos

de 25 litros/segundo), Maravillas 1 y 2 (pasaron de 60 litros/segundo, a sólo 19 y 4 litros/segundo, respectivamente) (Figura 3). En el caso del pozo denominado Cieneguilla, ubicado aproximadamente en el lugar en el que se localizaban los manantiales Cieneguilla y La Trinidad, aparentemente no sufrió una afectación notable, sin embargo, si se considera que ambos manantiales fueron los más productivos durante la Colonia (sumaban 76.50 litros/segundo), como lo muestran registros históricos (Palacios, 1982) y se revisa la evolución de su caudal después de 1980, se apreciará una importante disminución de su caudal (aproximadamente 26 litros/segundo para el 2002). Otro sitio de manantiales que tiene un referente histórico es el de Rementería o El Carmen, el cual registró a principios del siglo XX un caudal de 65 litros/segundo (Palacios, 1982) y posteriormente, de acuerdo con reportes de SOAPAP, en el 2002 el pozo Rementería, apenas alcanzó un gasto de 7 litros/segundo.

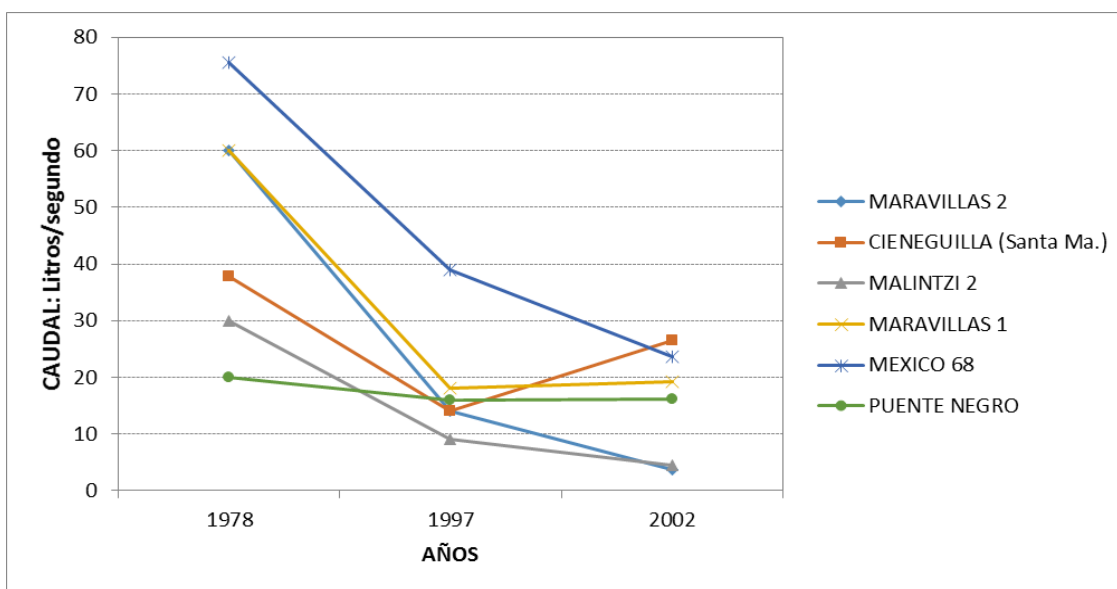


Figura 3. Evolución del caudal de algunos pozos del Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla (SOAPAP) localizados al noreste de la ciudad de Puebla (pedemonte Malinche). Fuentes: Ingeniería Técnica de Estudios y Proyectos (ITEPSA), 1978; Geotecnología/SOAPAP, 1997 y Sistema de Análisis de Gastos, Departamento de Operación Hidráulica del Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla (SOAPAP), 2002

Así como sucedió en el pasado, actualmente cualquier cambio en los factores condicionantes del funcionamiento del sistema hídrico, especialmente el subterráneo: régimen de extracción, usos del suelo, períodos de precipitaciones pluviales intensas/sequías (cambios intempestivos/prolongados del clima en general), alteraciones de los ecosistemas-ambientes asociados (por ejemplo la



deforestación de la Malinche), etc., afectará directamente la recarga de las unidades acuíferas que abastecen a la ciudad de Puebla. Hay que destacar que el impacto será diferenciado en la microcuenca, esto es, las consecuencias tendrán diferentes resultados según se trate de una zona de recarga, de tránsito o afecte a una zona de descarga. Por ello cuando se analiza la disminución o recuperación de caudales, se tienen que considerar las zonas funcionales de los sistemas de flujos involucrados (recarga, tránsito y descarga). En este proceso histórico, los cambios en el uso del suelo de la Malinche (zona de recarga): deforestación-erosión, crecimiento urbano-industrial (y recientemente, el régimen de extracción de agua subterránea), explican la disminución-desaparición de importantes manantiales, ciénagas, ríos y ecosistemas vinculados que se extendían sobre la planicie poblana.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A pesar de todas las modificaciones sufridas por la red hidrográfica superficial y los sistemas de flujo de agua subterránea, éstos subsisten alterados-mutilados en el territorio definido como microcuenca y aún así constituyen una parte medular de los soportes materiales-naturales que actualmente sustentan el desarrollo de la ciudad de Puebla. En el caso del primero basta ver sus afectaciones-manifestaciones en las múltiples inundaciones que frecuentemente han sufrido las calles de colonias y fraccionamientos del norte de la ciudad que fueron construidas sobre cauces de ríos o cárcavas (barrancas) y que actualmente están cubiertas por concreto y asfalto. En el caso de los flujos subterráneos originados en la Malinche, a pesar de los cambios cuantitativos y cualitativos sufridos por este volcán y su ecosistema(s), siguen siendo la principal fuente de abasto de agua dulce del norte de la ciudad de Puebla. En fin, los flujos de agua que históricamente convergen en el territorio poblano marcaron sus huellas tangibles y delimitaron con ello sus espacios-soporte, por lo tanto, tendremos que reconocer su presencia, planear y actuar en consecuencia.

La ladera suroeste de la Malinche conformó/conforma la zona de recarga más importante de los flujos locales que nutrieron/nutren el acuífero somero que abasteció y sigue abasteciendo de agua dulce al norte de la ciudad de Puebla. Además del reconocimiento de su función primordial como zona de recarga, asociada a su ecosistema(s) de bosque, también habrá que reconocer su importancia sobre las características y funcionamiento del drenaje de agua superficial, la conservación de biodiversidad y los beneficios ambientales que aportó a la ciudad de Puebla en el pasado (aunque faltaría hacer un seguimiento más detallado al respecto). La Malinche es parte de las condiciones del ambiente natural que han definido/definen las características del clima, flora/fauna, paisaje que elevaron/elevan (o deterioraron/deterioran) la calidad de vida de los habitantes de esta microcuenca.

Algunas acciones inmediatas que se sugiere implementar: establecer una zona de transición entre la ladera del volcán y la ciudad para lo cual se tendrá que crear una base jurídica-legal que garantice un estricto control de los cambios de usos del suelo a nivel de piedemonte y, simultáneamente,



elaborar planes directores y de ordenamiento territorial con el objetivo de impedir que se siga urbanizando su ladera (zona de recarga). Ello implicará definir acciones para regenerar el ecosistema(s) de bosque de tal manera que se recuperen gradualmente las funciones ecosistémicas-ambientales vitales de la Malinche y el funcionamiento del sistema hídrico (superficial y subterráneo). Otro aspecto importante será alentar el desarrollo económico y socio-cultural de las comunidades de la Malinche de manera tal que se favorezcan las actividades forestales que garanticen la recuperación y conservación de las funciones señaladas, el pago por servicios ambientales puede ser una vía inicial.

6. LITERATURA CITADA

- Galicia, E. 2015. Un acercamiento histórico a las condiciones “originales” de funcionamiento del sistema hídrico subterráneo y su respuesta superficial en la microcuenca de la ciudad de Puebla, México, en *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, México, núm. 86, 2015, pp. 38-52, [<http://www.revistas.unam.mx/index.php/rig/article/view/41358/44907>: 2015]. Fecha consulta 30 mayo 2016
- Geotecnología, S.A./SOAPAP 1997. *Actualización del estudio geohidrológico de los acuíferos del Valle de Puebla*, informe final, Tomo I, Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla (SOAPAP), mecanuscrito, México.
- INEGI, 1996. Cartas Topográficas E14B43 y E14B53, escala 1: 50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), México.
- Lesser y Asociados, S.A./SAHOP, 1982. *Estudio geohidrológico en la zona Río Atoyac, estado de Puebla*, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), mecanuscrito, México.
- Loreto, R. 2009. Agua, acequias, heridos y molinos. Un ejemplo de dinámica ambiental urbana. Puebla de los Ángeles, siglos XVI-XIX, en *Agua, poder urbano y metabolismo social*, Rosalva Loreto (coord.), México, ICSyH, B. Universidad Autónoma de Puebla, Colección Estudios Urbanos y Ambientales/1, pp. 47-76
- Palacios, E. 1982. *Puebla, su territorio y sus habitantes*, tomo I, Junta de Mejoramiento Moral, Cívico y Material del Municipio de Puebla, México.
- Peñuela, L. A. y J. J. Carrillo R. 2013. Definición de las zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: centro-sur de la Mesa Central, México, en *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, núm. 81, 2013, pp. 18-32. [<http://www.revistas.unam.mx/index.php/rig/article/view/30518>: julio 2013]



- Tóth, J. 2000. Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones, *Boletín Geológico y Minero*, vol. 111, núm. 4, pp.9-26
- Toxqui, M. 2011. *La gestión del abasto de agua potable: privatización y modernización de un servicio público en la ciudad de Puebla 1855-1883*, tesis de Doctorado en Historia, ICSyH, BUAP, México.

Mapas históricos consultados:

- -*Planta de la Ciudad de Puebla de los Ángeles de la Nueva España (1698)*
- -*Croquis de la Ciudad de Puebla y sus Alrededores (1862)?*
- -*Plano topográfico de la ciudad de Puebla*, levantado por Luis G. Cariaga y Saenz (1883)
- -*Plano topográfico de la Ciudad de Puebla*, levantado por Luis G. Cariaga y Saenz (1856 y reformado 1863)
- -*Carta Geográfica General de la República Mexicana, Atlas Topográfico de los Alrededores de Puebla*, comenzada en 1878 por la Comisión Geográfico-Exploradora, 3ª. Serie-letra AP, escala 1:20,000, 1ª. Edición.



Extenso ID: 291. Gersain Quiahua Alamillo. IMPACTOS SOCIO-AMBIENTALES EN LA CUENCA DE CUITZEO POR LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE MORELIA.

[Regresar al índice](#)

Universidad Nacional Autónoma de México (Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad - IIES) gersainq@cieco.unam.mx

Resumen

La cuenca del lago de Cuitzeo se localiza en el estado de Michoacán México, donde el principal centro de población es la ciudad de Morelia que se ubica en la cuenca media. Este centro de población en los últimos 40 años tuvo un crecimiento urbano significativo y de algunas actividades industriales (industria papelera) lo que ha provocado aumento de aguas residuales, las cuales no reciben un saneamiento óptimo y causan impactos sociales y ambientales negativos en la cuenca baja.

Los daños ambientales se presentan en el principal río de la cuenca (Río Grande de Morelia) y en el ecosistema lacustre del lago de Cuitzeo. El Río Grande transporta las aguas residuales de la ciudad hasta el lago pasando por el Distrito de Riego-020 (DR-020) donde estas aguas son aprovechadas para el riego agrícola, específicamente en el módulo III del municipio de Álvaro Obregón ubicado en la cuenca baja. Este río se encuentra fuertemente deteriorado como consecuencia del agua residual que transporta a lo largo de su cauce (45 km), mientras el lago de Cuitzeo también presenta degradación por ser el receptor final de las aguas residuales la ciudad de Morelia y otras poblaciones. Los impactos sociales se perciben en la salud y bienestar de sociedades rurales que se asientan en las márgenes del Río Grande y en afectaciones económicas en las actividades agrícolas del DR-020 y en las pesqueras que se practican en el lago de Cuitzeo.

Los daños ambientales fueron descritos con información cuantitativa que fue recuperada en fuentes previamente publicadas (tesis, libros, artículos, ensayos, etc.) mientras que los impactos sociales se desarrollaron con información recabada en campo (entrevistas a agricultores, pescadores, asistencias a reuniones, recorridos, observación participativa) y se presentan en un formato donde la voz de los afectados es la fuente de información. La investigación se realizó entre 2013 y 2014.

Palabras clave: cuenca, impactos socio-ambientales, aguas residuales.



1 INTRODUCCIÓN

Las aguas contaminadas (aguas residuales) en las últimas décadas han generado problemáticas socio-ambientales en todo el mundo que se agudizan con los procesos de urbanización. Actualmente se estima que los centros urbanos continuarán creciendo y acrecentando problemáticas sociales (pobreza urbana, enfermedades de origen hídrico, conflictos campo-ciudad) y ambientales (deterioro de ecosistemas, sobreexplotación de acuíferos, contaminación de ríos y lagos) por el aumento de descargas de aguas residuales provenientes de actividades domésticas e industriales (UN, 1996; Barkin, 2006; Ávila, 2004).

A partir de 1970 las problemáticas socio-ambientales por el agua residual empezaron a ser temas de interés público (internacional y nacional) así como en la investigación científica. Ello desembocó en propuestas novedosas para su solución tales como: la gestión integrada de cuencas, la valoración económica del agua, pago por servicios ambientales y una regulación ambiental acorde a los nuevos escenarios socio-ambientales (Avila, 2004; MEA, 2005; IPCC, 2007).

Por todo lo anterior la presente investigación pretende aportar conocimiento sobre los impactos sociales y ambientales en una cuenca endorreica como consecuencia de las aguas residuales que desecha un centro urbano. La zona de estudio es la cuenca del lago de Cuitzeo en el estado de Michoacán en México, donde la ciudad de Morelia es el principal centro urbano de la cuenca que genera aguas residuales.

El crecimiento de la ciudad de Morelia y de las actividades económicas (principalmente industriales) ha provocado en los últimos 40 años impactos negativos en la cuenca baja que se reflejan en el deterioro del ecosistema lacustre del lago de Cuitzeo y afectaciones al bienestar de poblaciones rurales que se asientan en la cuenca baja como consecuencia de las aguas residuales que desecha. Las aguas residuales que genera la ciudad son una mezcla de aguas de origen doméstico e industrial, estas últimas de la industria papelera que no se sanean adecuadamente y son el insumo en actividades agrícolas y pesqueras en la cuenca baja.

Para lograr lo planteado se trabajó sobre los objetivos siguientes:

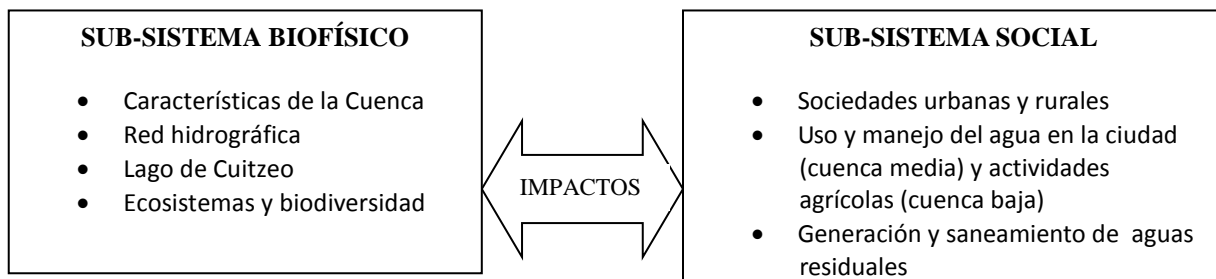
- Conocer los impactos sociales y ambientales en la cuenca baja del lago de Cuitzeo por las aguas residuales de la ciudad de Morelia.
- Conocer los aspectos biofísicos de la cuenca y las sociedades humanas que están en la cuenca y como su interacción genera daños a los ecosistemas y a las mismas sociedades.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para abordar la problemática fue necesario apoyarse en un marco conceptual y metodológico interdisciplinario que considere tanto escenarios naturales como sociales y las relaciones entre ambos. Para ello se echó mano de la Teoría de los Sistemas Complejos propuesta por Rolando García (2006) el cual define un problema socio-ambiental como un sistema complejo al decir que es: un sistema natural que ha sufrido la acción del hombre, ya sea por medio de la explotación de sus recursos naturales o bien por la instalación de asentamientos humanos de diverso tipo, incluyendo las urbanizaciones y obras de infraestructura.

Para lograr tal aproximación fue necesario integrar un sistema con sub-sistemas que integraran al sistema de estudio (sistema complejo) cuya relación entre sí da origen a la problemática socio-ambiental de estudio (Figura 1).

Figura 1. Sistema de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

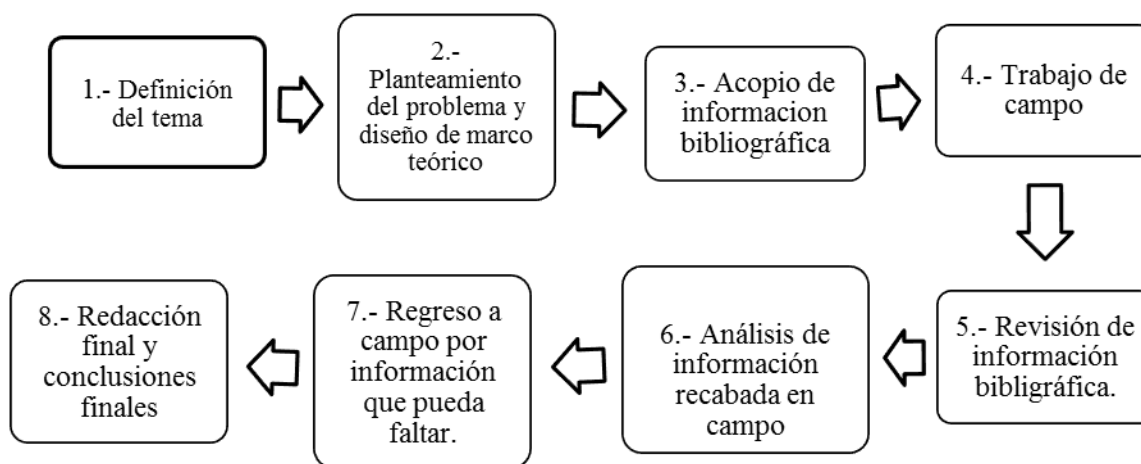
El estudio por separado y en conjunto de los sub-sistemas biofísico y social permitirá abordar y entender los impactos socio-ambientales en la cuenca desde una perspectiva interdisciplinaria.

Cada sub-sistema tiene características, dinámicas propias y cada uno pertenece a campos disciplinarios diferentes por ello fue necesario contar con información documental y de campo y recurrir al uso de técnicas cuantitativas y cualitativas. La investigación documental se limitó al acopio información bibliográfica (libros, artículos, reportes) y datos (censos, estadísticas) para explicar a los sub-sistemas biofísico y social.

Los impactos sociales y ambientales, que son el resultado de la interacción de los dos sub-sistemas se describieron a través de la investigación de campo donde se utilizaron técnicas como la observación, la entrevista y la asistencia a reuniones, todo ello con la finalidad de interpretar la problemática con información proveniente de las palabras de los actores afectados (campesinos y pescadores entrevistados) según su situación (emociones, prioridades, experiencias, significados y otros aspectos) (Cantrell, 1999; Hernández Sampieri, 2010).

El trabajo de campo se llevo a cabo con agricultores del Distrito de Riego DR-020 del módulo III del municipio de Álvaro Obregón y pescadores del Lago. La información de los daños sociales no se presenta a través de gráficas, ni variables binarias o con parámetros que midan éxito o fracaso, afecta o no afecta, indiferente, etc. El aporte de la investigación es presentar una perspectiva de la problemática socio-ambiental desde el punto de vista de los actores directamente afectados por la contaminación del agua residual en la cuenca baja (Figura 2).

Figura 2. Proceso de la investigación.



3 RESULTADOS

Aspectos biofísicos de la Cuenca del lago de Cuitzeo.

La cuenca tiene una condición endorreica, es decir que las aguas de sus afluentes confluyen a un punto común que es el ecosistema lacustre del lago de Cuitzeo (Tabla 1 y Figura 3).

Tabla 1. Parámetros generales de la cuenca.

Propiedad	Valor
Tipo de sub-cuenca	Endorreica
Área (km ²)	4,023.6
Elevación Máxima en la sub-cuenca (msnm)	3,420
Elevación Mínima en la sub-cuenca (msnm)	1,840

Fuente: SIATL, 2014.

La época calurosa en la cuenca va del mes de abril al mes de septiembre siendo mayo y junio los más cálidos y julio, agosto y septiembre los meses donde la temperatura disminuye. La precipitación es variable y va de 600 a 800 mm anuales; en la parte baja de 800 a 1,000 mm y en las altas es mayor a 1,200 mm anuales (Vidal, 2005; Israde-Alcántara *et al.*, 2009).

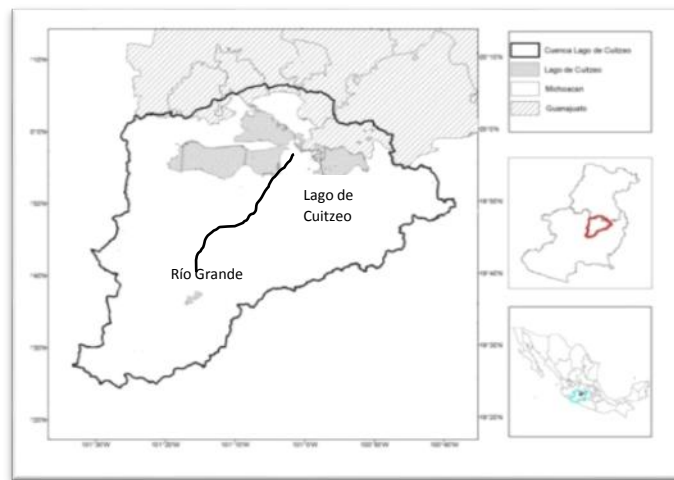
Tales condiciones ambientales permiten que en la cuenca estén diversas especies de organismos como: 23 especies de peces, 50 especies de anfibios y reptiles, de aves han reportado 296 especies, de mamíferos 161 (Villaseñor, 1994; Medina *et al.*, 2003; Flores, 2004; Núñez, 2005; Ponce, 2005).

Los principales ecosistemas en la cuenca son: bosque de Oyamel, bosque de Pino, bosque de Encino, bosque Mesofilo, bosque Tropical Caducifolio y matorrales subtropicales así como vegetación acuática del lago y de los ríos (López *et al.*, 2012).

Las principales corrientes superficiales de la cuenca son el Río Grande de Morelia y el Río Queréndaro: el primero recorre la cuenca desde la porción Sur hasta el lago y el segundo por la parte Este. Además existen otros ríos menores como el Zinapécuaro o el Río Chiquito de Morelia, además de algunos arroyos intermitentes y manantiales termales (Chacón, 2000; García *et al.*, 2005).

El lago de Cuitzeo se encuentra al fondo de la cuenca y tiene una extensión de 400 km², se originó hace aproximadamente 7 millones de años. Los registros geológicos lo caracterizan como somero el cual ha experimentado eventos de desecación y variaciones climáticas importantes (Buenrostro-Israde, 2003; Mendoza *et al.*, 2005; Israde-Alcántara *et al.*, 2009) (Figura 3).

Figura 3. Ubicación geográfica de la cuenca de Cuitzeo.

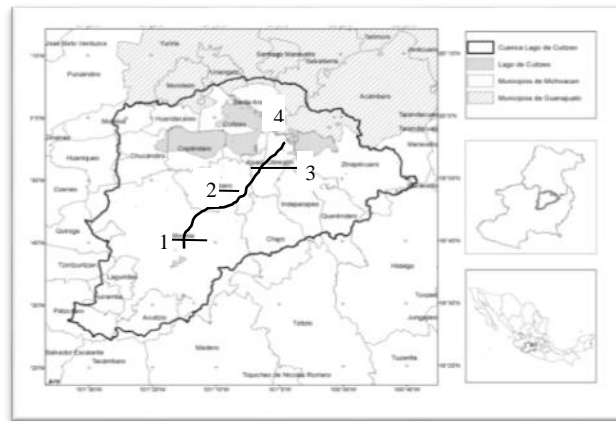


Fuente: Elaboración en QGIS.

Sociedades (urbana y rural) en la cuenca

La división política en la cuenca comprende 23 municipios del estado de Michoacán y cinco de Guanajuato (Figura 4). El municipio de Morelia registra mayor población (597,511 habitantes), lo que implica un consumo de agua de más de 144 millones de m³/año, de la cual 90 m³/año son de aguas residuales y de estas solo 65 millones de m³/año son sometidas a saneamiento a través de métodos básicos (Ávila, 2006; INEGI, 2010^a; OOAPAS 2013; REPDA-CONAGUA, 2014).

Figura 4. División política de la cuenca del lago de Cuitzeo.



Fuente: Elaboración en QGIS.

En la cuenca la problemática socio-ambiental se origina en la ciudad de Morelia (1) y los municipios de Tarimbaro (2), Álvaro Obregón (3) y el ecosistema del lago de Cuitzeo (4) son los receptores de las aguas residuales de la ciudad. Entre los tres municipios involucrados en la problemática albergan una población de 828,815 habitantes (INEGI, 2010).

Los impactos ambientales del agua residual: Río Grande y Lago de Cuitzeo

Los datos colectados para ilustrar el estado ambiental de Río Grande provienen de dos estudios realizados por Mathuriau (2010a y 2010b), de datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y de una tesis.

El primer estudio de Mathuriau demostró que en la época de lluvias (noviembre 2005) el río presenta una Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 105 mg/l y una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) de 62 mg/l. En la época seca (mayo 2006) presentó una DQO de 455 mg/l y la DBO₅ de 296 mg/l. Estas cifras de acuerdo a los criterios de la CONAGUA (2013a) el río se encuentra contaminado a muy contaminado (Ver Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Indicador de la calidad del agua.
Parámetro DQO.

Parámetro	Clasificación
$DQO \leq 10$	Excelente
$10 < DQO \leq 20$	Buena calidad
$20 < DQO \leq 40$	Aceptable
$40 < DQO \leq 200$	Contaminada
$DQO > 200$	Muy contaminada

Fuente: CONAGUA 2013a

Tabla 3. Indicador de la calidad del agua.
Parámetro DBO₅.

Criterio	Clasificación
$DBO_5 \leq 3$	Excelente
$3 < DBO_5 \leq 6$	Buena calidad
$6 < DBO_5 \leq 30$	Aceptable
$30 < DBO_5 \leq 120$	Contaminada
$DBO_5 > 120$	Muy contaminada

Fuente: CONAGUA 2013a

En el segundo estudio Mathuriau uso organismos macro-invertebrados como indicadores de la calidad del agua. Los resultados mostraron cambios significativos en las comunidades de los macro-invertebrados a lo largo del río. Las familias Perlidae, Nemouridae y Calamoceratidae fueron sensibles a la contaminación del agua, en cambio aparecieron otros tolerantes como Dípteros y especies de Diatomeas.

Los datos de monitoreo de la calidad del agua del Río Grande realizados por la CONAGUA confirman el estado degradado que guarda (Tabla 4).

Tabla 4. Datos de DBO₅ y DQO en Río Grande (periodo 2011-2012)

Sitio	DBO ₅	DQO	Calidad del agua
1.- Cointzio	1.4 mg/l	3.0 mg/l	Buena
2.- Puente el frijolar	50 mg/l	81 mg/l	Contaminada
3.- Puente la aldea	77 mg/l	127 mg/l	Fuertemente contaminada
4.- Autopista occidente	50 mg/l	72 mg/l	Contaminada

Fuente; CONAGUA 2013, información entregada por CONAGUA por escrito.

Finalmente Díaz en 2013 en su tesis de posgrado analizo muestras tomadas en 12 puntos del Río Grande para identificar metales pesados, basándose en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-127-SSA1-1994 así como en parámetros de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros de la calidad del agua del lago de Cuitzeo.

Parámetro	Medida
Transparencia Secchi (m)	0.10
Conductividad(S/cm)	6,595
pH	10.4
Acidez al CO ₂ (mg/l)	0.0
Alcalinidad (mg/l)	750
Dureza total (mg/l)	202.1
Solidos totales (mg/l)	4216
DQO (mg/l)	230.0

Fuente: Romero, 1998.

Los resultados de la tesis mostraron que la DQO es de 129.35 mg/l lo que indica que el agua del río está contaminada nuevamente según la CONAGUA. También se identificaron sales como SO₄, CO₃, HCO₃ las cuales estuvieron presentes en alta proporción. Respecto a los metales pesados se detectó la presencia de nueve elementos: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Plata (Ag) y Arsénico (As), de los cuales el Fe y Zn presentaron las concentraciones más altas (Díaz, 2013).

El lago de Cuitzeo es el receptor final de las aguas que transporta el Río Grande, además también recibe aguas residuales de otros 13 municipios de la cuenca debido a la condición endorreica de la cuenca

El Río Grande aporta al lago sustancias contaminantes provenientes de la industria papelera de la ciudad de Morelia y de las actividades agrícolas en el DR-020 como Boro (B), Cadmio (Cd), Bicarbonatos, Grasas, Aceites, Sodio (Na) y coliformes fecales. Guzmán (1997) reportó que seis especies de peces y algunas aves del lago presentan parásitos trematodos como *Posthodiplostomum minimum* (MacCallum), *Clinostomum complanatum* (Rudolphi) y *Diplostomum* (Tyloodelphys), característicos de aguas contaminadas como las de Cuitzeo. El autor relaciona estos parásitos en el agua con los procesos de deforestación, azolvamiento y contaminación que ocurren en la cuenca. Los parásitos dañan órganos como el hígado, el cerebro y ojos de los peces y aves, incluso en ocasiones pueden transmitirse al humano (Martínez, 1991; Restrepo, 1995; Pérez-Ponce de León *et al.*, 1996).

Impactos sociales del agua residual: Agricultores del modulo III y pescadores del lago.

La llegada de aguas residuales a la cuenca baja a través del Río Grande afecta las actividades agrícolas de más de 2 mil agricultores integrados en el Modulo III del DR-020. Lo anterior ha obligado a que en el módulo solo cultiven forrajes debido a que las medidas sanitarias por parte de las instituciones como la Secretaria de Salud (SSA) prohíben regar con esas aguas cultivos de consumo directo (Figura 5) (Ávila, 2002).

Figura 5. Solo se permite cultivar forrajes en el modulo III.



Autor: Gersain Quiahua A. Módulo III. Álvaro Obregón 2013.

La información recogida entre los agricultores en entrevistas muestran el estado de los campos agrícolas del Distrito y específicamente del módulo III.

“Hace algunos años (30 años) el agua que llegaba era la de la presa Cointzio, charandoza le decíamos y con esa regábamos las parcelas, con esa agua había en los canales víboras, ranas, pájaros. El agua estaba limpia”

(Eloy S. de Álvaro Obregón. Marzo 2013).

Las aguas que se aprovechan en el módulo III aportan metales pesados como Boro(Br), Cadmio (Cd), sustancias como Bicarbonatos, Grasas y Aceites, Sodio y Coliformes Fecales, lo que provoca problemas al desarrollo de los cultivos y limita el establecimiento de otros más rentables (como las hortalizas) (Martínez, 1991).

Hoy se riegan más de 8,000 hectáreas en el módulo de trigo, maíz, sorgo, alfalfa y avena incluso algunas hortalizas, aunque estos cultivos representan riesgo para la salud debido a que se pueden comer crudas. De esta situación Samuel expresa lo siguiente:

“hoy el agua del módulo esta contaminadísima, viene con aceite, se quedan los surcos muy prietos por donde se riega, ya no podemos sembrar tomates como antes o alguna verdura para comer, pero nos las arreglamos para sembrar algunas verduras”

(Samuel A. Vecino de las Palmas, Indaparapeo. Marzo 2013).

Los agricultores igual coinciden en que la problemática que los aqueja surge aproximadamente hace 30 años a partir del crecimiento de la ciudad de Morelia lo que genero mayor cantidad de aguas residuales sin tratamiento.

“El agua ya viene sucia del canal de la ciudad de Morelia, toda el agua cochina viene en el canal. Esa agua no se le puede dar a los animales de la casa, porque se mueren”

(Eloy S. de Álvaro Obregón. Marzo 2013).

Figura 6. Canal en el módulo III con las aguas residuales de Morelia.



Autor: Gersain Quiahua A. Módulo III. Álvaro Obregón 2013.

Los agricultores, funcionarios públicos de Álvaro Obregón y personal del módulo III, opinan que la situación tendera a agravarse con el tiempo y de no hacer algo urgente la situación llegara a un punto de no retorno. Son conscientes de que sus actividades agrícolas también contribuyen a la degradación de la calidad del agua que llega al lago.

“La posible solución a este problema del agua contaminada pasa forzosamente por la construcción de más plantas de tratamiento de esas aguas, cada municipio después de Morelia hacia esta parte baja de la cuenca debe tratar su agua. Además también nosotros como agricultores debemos transitar hacia el uso de bio-fertilizantes o abonos orgánicos en nuestras parcelas. De nada serviría que el agua nos llegara limpia y que nosotros le aplicáramos los químicos de los fertilizantes, sería una contradicción. La solución está en todos los involucrados”
(Lic. Cesar G. Auxiliar del municipio Álvaro Obregón. Marzo 2013).

Después de regar el Modulo III las aguas del río llegan al lago de Cuitzeo y afecta al sector pesquero que depende del cuerpo de agua (aproximadamente 1,500 pescadores). Algunos de las situaciones que más afectan este sector son; los parásitos en los organismos del lago (peces y aves), el incremento en el plancton, reducción de zooplancton y bentos lo que provoca cambios en la biomasa disponible en el lago y por lo tanto una disminución de cantidad y calidad del alimento para peces, además de los procesos de eutrofización que se dan en el lago (Figura 7).

Figura 7. Pescadores atrapados entre el Tule y la eutrofización del Lago.



Autor: Gersain Quiahua A. Cheguayo, Álvaro Obregón. 2013.



Lo anterior provoca que las especies comerciales del lago se vean reducido en su tasa de crecimiento y en la suspensión del desarrollo de los huevos generando problemas económicos, especies como los peces, anfibios, incluso vegetales (Gómez, 2002).

La actividad pesquera que se práctica en el lago de Cuitzeo se basa en la extracción de Charales, Chehuas, rana toro y carpas principalmente. A decir de los pescadores su sector padece fuertemente la crisis generada por la contaminación del agua del Río Grande como lo describe Don Chano:

“el lago siempre ha tenido ese color, desde que recuerdo hace 40 años 45 años cuando era niño, ese color, no ha cambiado mucho, lo que si recuerdo es que antes si se veían más patos, garzas y las pescas eran buenas, no había tanto lirio, definitivamente era mejor”
(Chano S. Pescador de Chehuayito. marzo 2013).

Los pescadores relacionan el estado del lago con la calidad de vida que tienen pues dicen que en época de secas la producción pesquera baja, por lo que recurren a otras fuentes de trabajo, mientras que en época de lluvias la pesca mejora y su situación económica también.

“acá en Chehuayito, comunidad del municipio de Álvaro Obregón nos dedicamos a la pesca, pero cada vez estamos en peores condiciones por que ha ido disminuyendo últimamente la cantidad de lo que pescamos. Por ejemplo además de las carreteras que han construido alrededor y en medio del lago, hay que sumarle las poblaciones que nos hemos puesto cerca y para terminar el agua que llega esta cada vez más sucia, entonces lo que pescamos ya viene mal, porque también se mueren. Antes hasta patos pescábamos ahorita ya solo unas cuantas carpas y chehuas”
(“Conde”, Líder de pescadores en Chehuayito. Marzo 2013).

La ganadería y la agricultura son alternativas para los pescadores ante la disminución de su pesca, también recurren a otras prácticas para asegurar el sustento de sus familias. De acuerdo con Don Miguel cada vez es más frecuente que los pescadores salgan a las ciudades o extranjero (Estados Unidos) como alternativa de vida, abrir tiendas de abarrotes o practicar la agricultura en las márgenes del lago.

“Por ahora ya ha bajado la actividad de pescar, muchos compañeros de la asociación acá en Chehuayo se han dedicado a la agricultura de lleno se van a trabajar a la ciudad o a Estado Unidos, y aquí ya casi no hay nada, algunos están poniendo sus tienditas la pesca ya casi no da”
(Miguel S. Pescador de Chehuayo. Marzo 2013).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La problemática social y ambiental en la cuenca del lago de Cuitzeo es una consecuencia del deficiente saneamiento de las aguas residuales en la ciudad de Morelia, en donde solo un mínimo porcentaje recibe un tratamiento primario, por lo que los niveles de contaminación del Río Grande son de contaminación. El río transporta alrededor de 100 millones de m³/año de aguas residuales que son una mezcla de aguas residuales de la industria papelera y domésticas de la ciudad a la cuenca baja caracterizada por sus actividades agrícolas y pesqueras.

Los impactos ambientales se presentan en el Río Grande y en el lago de Cuitzeo, en el río ya se han rebasado los límites para los parámetros de DBO₅ y la DQO llegando a presentar niveles



de contaminado a muy contaminado, lo que provoca la desaparición de organismos adaptados al agua del río. Posteriormente las aguas del río llegan al módulo III del Distrito de Riego en la cuenca baja donde también genera problemas al sector agrícola, pues con esa agua se riegan cultivos (forrajes) los cuales no se cotizan a buen precio en comparación a productos que se riegan con agua limpia como las hortalizas.

El destino final del agua es el lago de Cuitzeo, en este punto las aguas degradan el ecosistema lacustre del lago y al sector pesquero pues las poblaciones de peces extraídas con fines comerciales se encuentran reducidas en tamaño por las enfermedades parasitarias que padecen provocando estragos en la salud y económica de las familias de los pescadores.

Este escenario socio-ambiental en la cuenca del lago de Cuitzeo es consecuencia de un mal manejo del agua residual en Morelia debido a que en este centro urbano el líquido es visto como un recurso del cual solo interesan las ganancias económicas sin tomar en cuenta los impactos (negativos) que genere, pues mientras los beneficios económicos por aprovechar el agua estén asegurados los daños a los ecosistemas y sectores sociales productivos en la cuenca se ignoran y se ocultan.

Esta problemática también muestra un dominio de la ciudad sobre el campo en la cuenca, por lo tanto se concluye que el sistema complejo de estudio se encuentra en estado de degradación de la base biofísica y social (urbanas y rurales) por un mal manejo y saneamiento del agua residual.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Dra. Patricia Ávila García del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIES-UNAM) por la asesoría brindada para la realización de este trabajo. Al Dr. Fermín Pascual Ramírez investigador del IIES por su valioso apoyo, así como también a todos los compañeros del laboratorio de Ecología Política del IIES UNAM donde tuve la oportunidad de realizar esta investigación y a los agricultores y pescadores de la parte baja de la cuenca por compartir su vida y tragedia para esta investigación.

6. LITERATURA CITADA

- Ávila, Patricia. 2002. "Estado y política de agua en la cuenca del lago de Cuitzeo". En *Entre Campos de Esmeralda*. Editado por Martín Sánchez. El Colegio de Michoacán.
- Ávila, Patricia. 2004. "Especulación del suelo y deterioro socio-ambiental en la ciudad de Morelia". En *Hacia la sustentabilidad en barrios y centros históricos*. Editado por Catherine Ettinger y Alfonso Iracheta, SUMA-UMSNH-Red Mexicana de Ciudades hacia la sustentabilidad, México.
- Ávila, Patricia. 2006. "Movimiento urbano y conflictos por el agua". En *El derecho humano al agua en México*. Editado por Esch Sophy. Visiones vs. Realidades. Ediciones Böll. México.
- Barkin, David. 2006. *La Gestión del Agua Urbana en México: retos, debates y bienestar*. Universidad de Guadalajara y Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. México.
- Buenrostro, Otoniel, Israde Alcantara. 2003. *La Gestión de los Residuos Sólidos en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, México*. Revista Internacional de contaminación Ambiental.



- Cantrell, D.C. 1999. *Alternative Paradigms in Environmental Education Research: The interpretative Perspective*. *Alternative Paradigms in Environmental Education Research*, Part I.
- Chacón Torres, Arturo, Rosas-Monge C, Alvarado-Díaz J. 2000. "The effects of Hypereutrophication". *En A tropical Mexican lake*. Editado por Munawar H, Lawrencen SG, Munawar IF, Malley DF (eds), *Aquatic Ecosistemas of Mexico: Status and Scope*, pp. 89-101
- CONAGUA. 2013. Comisión Nacional del Agua. Indicadores de la calidad del agua.
• <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=63&n3=98&n4=98>
- Díaz, Laura S. 2013. "Evaluación de la calidad en agua y sedimentos del Rio Grande de Morelia, Michoacán". Tesis de Maestría en ingeniería ambiental. Facultad de Biología Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Febrero de 2013.
- Flores-Villela, O. y L Canseco-Márquez. 2004. *Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México*. *Acta Zoológica Mexicana*, 115-144.
- García G. J. O, Carrillo S. E. 2005. *Relación Urbano Rural y Medio Ambiente en la Región Centro de Michoacán, México*. Universidad de Málaga. España y Latinoamérica.
- García, Rolando. 2006. *Sistemas Complejos; Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Octubre de 2006, Barcelona, España Ed. Gedisa.
- Gómez, A. 2002. *Valuación económica del impacto ambiental de las descargas de aguas residuales municipales*. Memorias de congreso, FEMISCA.
- Guzmán C, María del Carmen 1997; "Análisis de las principales trematodiasis que afectan a algunas especies de peces del lago de Cuitzeo, Michoacán". Tesis de licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. Director de Tesis. M.C. Luis García Prieto. México. DF.
- Hernández Sampieri, R. Carlos Fernández Collado, Pilar Baptista Lucio. 2010. *Metodología de la investigación*: Quinta edición. Edit. McGrawHill. Interamericana Editores, S.A. de C.V. Delegación Álvaro Obregón, México.
- IPCC. 2007. Intergovernmental Panel On climate Change. 2007. Cambio Climático 2007. Informe de síntesis. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- INEGI. 2010^a. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Poblacion en la cuenca.
• <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/Mich/Poblacion/default.aspx?tema=ME&e=16>
- INEGI 2010b. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Censo de población 2010.



- http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2010/panora_socio/mich/Panorama_Mich.pdf
- Israde Alcántara, Isabel, Lozano García S, Garduño Monroy V.H., Ortega Guerrero B, Velázquez Duran R, Domínguez Velázquez G. 2009. "Paleo ambientes de las cuencas de Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén y su influencia en el cambio climático regional". Cuarto Congreso Estatal de Ciencia y Tecnología. Michoacán.
- Martínez T. M. 1991. "Estudio ictiológico". *En impacto que causan las aguas del Río Grande de Morelia en el Distrito de Riego del Valle Morelia Queréndaro*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán.
- Mathuriau, Catherine, S. Herrerón Escutia y J. Rangel Camarena. 2010^a. "Evaluación de la calidad del agua de los ríos con DQO y DBO5" pp.206-209 *En Atlas de la Cuenca del Lago Cuitzeo: Análisis de su Geografía entorno Socio ambiental*. Editado por S. Cram, L. Galicia & I. Israde- Alcántara. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Mathuriau, Catherine y S. Herrerón Escutia. 2010^b. "Insectos acuáticos de los ríos" Pag. 88-91. *En Atlas de la Cuenca del Lago Cuitzeo: Análisis de su Geografía entorno Socio ambiental*. Editado por S. Cram, L. Galicia & I. Israde- Alcántara. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Medina-Nava, M. 2003. "Peces de Agua Dulce y Salobre de Michoacán". *En Atlas de la Cuenca del Lago Cuitzeo: Análisis de su Geografía entorno Socio ambiental*. Editado por S. Cram, L. Galicia & I. Israde- Alcántara. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Mendoza, Manuel, Gerardo Bocco, M. Bravo y Erna López. 2005. "Evaluación de la calidad espacial y temporal de estaciones meteorológicas. El caso de la cuenca del Lago de Cuitzeo". *Ciencia Nicolaita* 39: 79-94.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press. Washington, DC:
- Núñez Garduño, Arturo. 2005. *Los mamíferos silvestres de Michoacán. Diversidad, Biología e importancia*. Edit. Universitaria, U.M.S.N.H. 448 pp. Michoacán Programa de Desarrollo Urbano del Estado de Michoacán de Ocampo 2007-2025.
- OOAPAS, 2013: Información solicitada al departamento de acceso a la Información del Organismo Operador de Agua Potable y Alcantarillado y Saneamiento.
- Pérez-Ponce de León, G. García, P.L. Osorio, S.D. y León, R.V. 1996. "Helmintos Parásitos de Peces de Aguas Continentales de México". *En Listados faunísticos de México*. VI. IBUNAM-1-100.



IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

- Ponce Saavedra, Javier. 2005. "Insectos y arácnidos". En *La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado*. Editado por L. Villaseñor G. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- REPDA, CONAGUA. 2014. Registro Público de Derechos del Agua. <http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>
- Romero Peñaloza, Jorge. 1998. *Agricultura, regiones y deterioro de recursos naturales en Michoacán: situación actual y retos*. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de Centros Regionales Universitarios, Centro Regional Universitario Centro Occidente (CRUCO). Morelia, Michoacán. En prensa
- Villaseñor, G. 1994. "Avifauna Terrestre y Acuática del Lago de Cuitzeo". En *Ciencia Nicolaita*. Num. 6. Pag. 48-62
- UN (United Nations). 1996. *An Urbanizing World: Global Report and Human Settlements*. United Nations. Centre for Human Settlements, Oxford University Press.
- Vidal Zepeda, R. 2005. "Las Regiones Climáticas de México. Temas selectos de Geografía de México. En *Atlas de la Cuenca del Lago Cuitzeo: Análisis de su Geografía entorno Socioambiental*. Editado por S. Cram, L. Galicia & I. Israde- Alcántara. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.



Extenso ID: 360. Fátima Guadalupe Lira Hernández^{1a} y Diana Elisa Bustos Contreras^{2b}
**VALORACIÓN SOCIAL DEL SERVICIO DE CONTROL DE AVENIDAS E INUNDACIONES
EN LA MICROCUENCA DEL ARROYO DE AMOLES EN MOROLEÓN, GUANAJUATO.**

[Regresar al índice](#)

^aEstudiante de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro, Acapulco 228, col. El Coecillo, León, Gto., email: fatima.lira0412@gmail.com

^bInvestigadora del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP en Querétaro, Pasteur 414 Sur, col. Valle Alameda, Querétaro, Qro., email: diana@webtelmex.net.mx

RESUMEN

Históricamente, las inundaciones han afectado de forma severa la ciudad de Moroleón en el estado de Guanajuato, la causa de estos eventos ha sido el desbordamiento del Arroyo de Amoles. El objetivo de este trabajo es contextualizar, desde la perspectiva de cuencas, la relación entre variables biofísicas (altitud y vegetación) y sociales (uso de suelo y actividades productivas) que se desarrollan en el territorio y centros de población) entre la parte alta y baja de la cuenca que pueden estar asociadas al riesgo de inundaciones en Moroleón y considerar como alternativa de gestión de la problemática, la valoración social de los beneficios que la naturaleza proporciona a la sociedad (servicios ecosistémicos), para encontrar un mecanismo de compensación entre las comunidades que habitan en la parte alta de la cuenca y los usuarios del servicio ecosistémico en la parte baja. Se concluye que la valoración social de servicios ecosistémicos es viable para el caso de estudio, ya que permite encontrar mecanismos de compensación entre distintos grupos de usuarios que incidan en el control de inundaciones de la microcuenca; no obstante, se debe ampliar información respecto a la relación entre las características del territorio y los usuarios de los servicios ecosistémicos.

Palabras clave: Enfoque de cuencas, Servicios ecosistémicos, Participación social.

1 INTRODUCCIÓN

El Problema de las Inundaciones en Moroleón

Históricamente, las inundaciones han afectado la ciudad de Moroleón en el estado de Guanajuato. Los estragos causados en los diferentes eventos de inundación en la Ciudad han sido documentados en el periodo de 1958 al 2004. Como ejemplo, la del 1 de Julio de 1958 que registró un total de 500 damnificados y 30 viviendas afectadas; en 1965 se registró una inundación en la que se reportaron más de 1000 afectados, 9 viviendas derribadas y 19 en peligro de derrumbarse, por último, en 2004, se registraron más de 2500 damnificados y 5 viviendas afectadas (Protección Civil, 2010).



Un acta del Cabildo del H. Ayuntamiento de Moroleón, datada el día 31 de enero de 1911, representa el antecedente más remoto sobre inundaciones en Moroleón. En ella se trató “el asunto importantísimo de la presa en la Barranca de Cepio”, obra hidráulica que contendría las aguas pluviales que periódicamente escurren del Cerro de Amoles y que solían inundar este poblado (López, 2015).

Pero no fue sino hasta el año 2006, que la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Estatal del Agua en Guanajuato, pusieron en operación la presa “del sepío” en la localidad de Cepio, Moroleón, con el objeto de contener nuevos eventos de inundación que pudiesen afectar a Moroleón. Sin embargo, el Plan de contingencia Temporada de Lluvias y Ciclones 2013 de la Secretaría de Seguridad Pública del Estado de Guanajuato, menciona como punto de riesgo la presa “del sepío”, debido a que existen cuarteaduras en la cortina.

Un evento de inundación en la ciudad de Moroleón pone en riesgo no sólo la vida y los bienes materiales de la población humana que habita en esta ciudad, también se ponen en peligro un gran número de pequeñas y medianas empresas en su mayoría relacionadas con la industria y el comercio textil que es la vocación económica de esta ciudad (Vangstrup, 1995).

Esta reflexión nos lleva a plantear el siguiente cuestionamiento; ¿Cuáles son las causas por las que la ciudad de Moroleón presenta riesgos de inundación? Para responder esta pregunta y de acuerdo a los registros históricos de Protección Civil de Guanajuato, todas las inundaciones han sido causadas por el desbordamiento del arroyo de Amoles, lo que nos lleva a plantear una pregunta poco más compleja que la anterior ¿Por qué se desborda el arroyo de Amoles?, la respuesta a este cuestionamiento incluye variables ambientales como la precipitación, tipo de suelo, cobertura vegetal y altura, variables sociales como núcleos urbanos existentes, tamaño de población, dinámica de crecimiento, actividades productivas que se desarrollan en el territorio, además de instituciones formales (normas, reglas y leyes) e informales (acuerdos colectivos, formas de organización local).

Pero, sobre todo, es preciso mirar más allá de los límites ciudadanos y abordar la problemática desde un enfoque de análisis espacio-temporal lo suficientemente flexible que nos permita entender el funcionamiento del territorio. Por ello, una alternativa viable para el análisis de esta problemática, es entonces, el enfoque de cuencas.

Utilidad del enfoque de cuencas

El enfoque de cuencas permite entender espacialmente el ciclo hidrológico: el movimiento general del agua ascendente por evaporación y descendente por las precipitaciones y después en forma de escorrentía (flujos de agua), así como las interacciones que suceden en un territorio delimitado por las partes más altas de montañas, que comúnmente se denomina parteaguas, donde se concentran todos los escurrimientos de arroyos y/o ríos, que confluyen y desembocan en un punto común como un lago o el mar. En estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas, etc.), las poblaciones humanas que ahí habitan, los modos de apropiación (mercados y tecnología), y las instituciones. (Cotler, Galindo, González, Pineda-López y Ríos, 2013).

La cuenca es una unidad funcional que puede analizarse de acuerdo a los flujos hídricos, como la parte alta de la cuenca, la parte media, y la parte baja. Se encuentra delimitada jerárquicamente por un parteaguas y generalmente confluye en escurrimientos que desembocan en el curso principal de un río. Cada cuenca se subdivide en subcuencas y estas a su vez en microcuencas. La elección del nivel jerárquico, dependerá del objetivo o los problemas que se quiere gestionar o manejar, desde



una escala local (microcuencas), en este nivel se interviene, regional (subcuencas), nacional o transnacional (cuencas), en estos dos niveles se planea. Para poder entender el territorio bajo el enfoque de cuencas, se debe poner énfasis en dos aspectos principales, por un lado, evidenciar la relación entre los territorios y los usuarios de cuenca alta y cuenca baja. Por otro lado, reconocer los servicios ecosistémicos SE que provee la cuenca (Cotler *et al.*, 2013).

El objetivo de esta investigación es analizar, desde la perspectiva de cuencas, las relaciones de variables biofísicas (altitud y vegetación) y sociales (uso de suelo y centros de población) entre la parte alta y baja de la cuenca que pueden estar asociadas al riesgo de inundaciones en Moroleón. Así como considerar la alternativa de gestión de la problemática a través de la valoración social de los beneficios que la naturaleza proporciona a la sociedad (Servicios Ecosistémicos SE) (MEA, 2003), como un mecanismo de compensación entre las comunidades que habitan en la parte alta de la cuenca y los usuarios de SE en la parte baja.

Lo anterior, partiendo de la hipótesis de que el mapeo participativo de SE puede incrementar el conocimiento acerca de los beneficios que la sociedad obtiene de la naturaleza, el ejercicio de mapear conflictos entre distintos usos del territorio y la provisión de servicios ecosistémicos en un proceso deliberativo, pretende incidir en la toma de decisiones para proponer acciones y esquemas de compensación que benefician la provisión de servicios ecosistémicos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio denominada microcuenca del Arroyo de Amoles se localiza entre los municipios de Moroleón, Uriangato y Yurira en el estado de Guanajuato y se delimitó utilizando el Continuo Mexicano de Elevaciones de INEGI (2013), mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). Así mismo, para la caracterización del área de estudio se utilizó la carta de uso de suelo y vegetación escala 1: 250,000 generada por el Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato en el 2014 (ver figura 1).

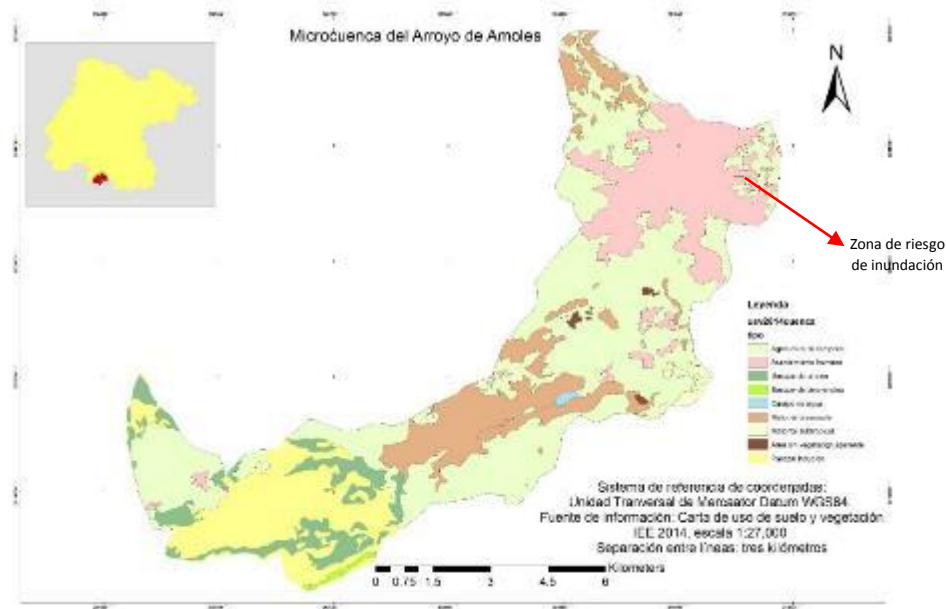


Figura 11. Mapa de uso de suelo y vegetación de la microcuenca del Arroyo de Amoles. Elaboración propia con datos de IEE, 2014.

Para la valoración social de Servicios Ecosistémicos uno de los métodos propuestos se denomina mapeo deliberativo de servicios ecosistémicos y consiste en realizar una valoración participativa con un grupo de expertos o focus group a través de talleres en los que los participantes valoran de entre un grupo de servicios ecosistémicos aquellos que les parecen más importantes y que deberían de conservarse y los ubican en un mapa participativo para después realizar un análisis de conflictos entre el cambio de uso de suelo y la conservación de los servicios que son más importantes con el objeto de proponer soluciones o medidas compensatorias para conservar aquellos servicios que son considerados de mayor prioridad (Palomo et al., 2014). Estos servicios son valorados de manera distinta por los usuarios y eventualmente pueden presentar conflictos entre los distintos grupos de servicios (provisión de alimentos vs retención de excesos de precipitación por cobertura vegetal). Es por ello que una etapa importante de la valoración es el análisis de conflictos (Martín-López, et al. 2010) entre los diversos grupos interesados y eventualmente proponer mecanismos de compensación entre afectados y beneficiados.

La aplicación del método de mapeo deliberativo mediante talleres con actores sociales (grupos enfocados) propuesto por Palomo *et al.* en 2014 es retomado para la realización de un primer taller de valoración social del servicio de regulación de inundaciones por cobertura vegetal en la microcuenca del Arroyo de Amoles que a su vez fue adaptado utilizando dinámicas propuestas por Geilfus (1997) para la realización de procesos participativos.

En este taller participaron 20 funcionarios públicos de los municipios y delegados de algunas de las comunidades rurales de Moroleón, Uriangato y Yuriria, quienes fueron convocados mediante la Dirección de Medio Ambiente del Municipio de Moroleón. Los habitantes en la microcuenca,



plasmaron su percepción sobre las zonas que son importantes para la conservación de servicios ecosistémicos en la microcuenca, lo anterior con el interés de valorar cual es la percepción de este grupo de actores sobre el valor del servicio ecosistémico de regulación de inundaciones por cobertura vegetal con respecto a otros servicios ecosistémicos o usos del territorio de la microcuenca y eventualmente proponer medidas de compensación para mantener las funciones de la vegetación que prestan dicho servicio.

3 RESULTADOS

Caracterización del área de estudio

Si observamos la figura 1, en la que se delimita la microcuenca del Arroyo de Amoles, el punto más alto de la microcuenca está ubicado a 2829 m.s.n.m, corresponde a la parte más alta del cerro de los Amoles (IEE, 2015), de acuerdo al enfoque de cuencas lo que suceda en términos biológicos, físicos o sociales en la parte alta de la microcuenca está interconectado con la parte baja. Para la microcuenca del arroyo de Amoles, el punto más bajo se encuentra ubicado a 1791 m.s.n.m, en la ciudad de Moroleón, que originalmente es donde curso del arroyo se junta con un canal proveniente del Lago de Cuitzeo y ambos confluyen hacia la laguna de Yuriria. Cabe mencionar que estos cauces han sido modificados para que drenen hacia otro punto fuera de la mancha urbana, no obstante, este sigue siendo el punto más bajo de la cuenca y por ende el de mayor riesgo en caso de un evento de lluvia extremo.

En la parte más alta de la microcuenca se encuentran ecosistemas como bosque de encino mismos que han sido protegidos bajo la figura de área natural protegida de carácter estatal (IEE, 2000) y en la parte baja predominan ambientes más áridos como el matorral crasicaule (IEE, 2014). En el transcurso del tiempo, estos ecosistemas han sufrido diversas modificaciones debido a las actividades de agricultura, ganadería y el establecimiento de centros de población.

De acuerdo a datos del censo de población y vivienda (INEGI, 2010), en esta microcuenca se localizan 16 núcleos de población. Dos de ellos se ubican en la parte alta de la microcuenca (las comunidades de Amoles y San Felipe) y se dedican a actividades de ganadería y agricultura de temporal; con ello, la vegetación de algunas zonas de la parte alta de la cuenca ha pasado de bosque de encino a zonas con agricultura de temporal y de pastoreo para el ganado (ver figura 1) (IEE, 2015).

Asimismo, una consideración importante para entender la problemática de inundaciones, se relaciona con la cobertura vegetal, ya que constituye un factor determinante cuando se presenta un evento de lluvia extremo, porque funciona como un regulador del ciclo hidrológico, ayudando a amortiguar las inundaciones de manera significativa aguas abajo de la cuenca a través de la intercepción de la lluvia, la evapotranspiración y el almacenamiento del agua en el suelo (Jobbagy, 2011; Laterra *et al.*, 2015).

Taller de valoración social de servicios ecosistémicos

Respecto a los resultados del taller de valoración social de servicios ecosistémicos, los participantes seleccionaron 5 servicios ecosistémicos que proporcionaba la microcuenca del Arroyo de Amoles y que consideraban prioritarios para su bienestar individual o colectivo y les asignaron una valoración numérica en escala del 1-5 siendo el 5 el más prioritario y el 1 menos prioritario (ver cuadro 1).



Así mismo, se valoró de manera cualitativa la precepción de los actores sobre la importancia de conservar el servicio de regulación de precipitaciones por cobertura vegetal para evitar inundaciones. En respuesta a este cuestionamiento, los participantes consideraron importante conservar dicho servicio en la microcuenca para evitar inundaciones en la zona baja de la cuenca, por seguridad y para evitar pérdidas económicas y humanas.

Cuadro 1. Priorización y valoración de SE en la microcuenca del Arroyo de Amoles por los funcionarios públicos municipales.

Tipo de Servicio Ecosistémicos	Valoración ponderada	Beneficios locales	Tipo de valor asignado
Grupo 1			
Materias primas	5	No identifica	Valor de uso
Combustibles	4	No identifica	Valor de uso
Regulación del clima	5	No identifica	Valor de existencia
Regulación de disturbios	5	No identifica	Valor de existencia
Identidad del sitio	3	No identifica	Valor de existencia
Grupo 2			
Regulación del clima	5	Mantener un clima agradable y salud estable	Valor de existencia
Regulación y saneamiento del agua	4	Salud, evitar inundaciones, alimentación	Valor de existencia
Tratamiento de desechos	3	Salud, evitar contaminación, Tierras fértiles	Valor de uso y de existencia
Combustibles	2	Leña, mejorar la calidad de vida y el ingreso económico	Valor de uso, valor de cambio y de existencia
Recreativo/Turístico	1	Convivencia, salud, ingreso económico	Valor de existencia, de uso y de cambio
Grupo 3			
Abastecimiento de alimento	5	Sana alimentación	Valor de existencia
Materias primas	5	Abastecimiento	Valor de uso
Regulación del clima	5	Estabilidad de un ecosistema	Valor de existencia
Regulación y saneamiento del agua	5	El consumo y abastecimiento	Valor de uso
Educativo	5	Medio autosustentable	Valor de uso
Recreativo/Turístico	5	Conciencia social	Valor de cambio

Las repercusiones económicas y sociales (daños) que tiene o tendría la pérdida del servicio de regulación de disturbios (inundaciones), se identificaron como de carácter económico, principalmente en lo que refiere a las afectaciones de sus bienes muebles, las pérdidas de vidas humanas, que representan un riesgo a la salud, Así mismo, mencionaron daños estructurales a obras públicas como calles y avenidas.

Por último, cuando se les cuestionó sobre qué acciones se realizan actualmente para revertir o minimizar los daños causados por disturbios de inundaciones, tormentas o avenidas, las respuestas



fueron orientadas al desasolve de cuerpos de agua, limpieza de canales y drenajes, construcción de infraestructura, principalmente refiriéndose a la presa del Sepio, podas y limpieza de vegetación en causes y canales y reforestación, en cuanto al costo de estas acciones, los participantes no pudieron dar un estimado del costo de las acciones.

En la segunda parte del taller, los participantes decidieron mapear los servicios de Regulación de disturbios (inundaciones), en el que identificaron las zonas de cobertura vegetal dentro de la microcuenca que fueran importantes para el mantenimiento de dicho servicio, el servicio recreativo/turístico en la microcuenca mismo que asociaron a una ruta en la que actualmente se realiza ecoturismo de montaña, y por último, el tercer equipo identificó el servicio de regulación del clima, mismo que asociaron al papel que la cobertura vegetal tiene para el mantenimiento de una temperatura adecuada para la vida humana (ver figuras 1, 2 y 3) como principales conflictos asociados a la provisión de servicios, los participantes identificaron las actividades de agricultura y ganadería que se realizan por las poblaciones rurales que habitan en la microcuenca.

En la tercera fase del taller se realizó una lluvia de ideas para que los participantes propusieran mecanismos de compensación para la preservación de los servicios ecosistémicos que mapearon; para ello se repartieron unas tarjetas para que los participantes pudieran escribir sus ideas al respecto, para después discutir las en plenaria, como resultado de la dinámica se obtuvo entre otras, la siguiente lista de acciones:

- Coordinación entre dependencias
- Ampliación del Área Natural Protegida Cerro de Amoles
- Pláticas en comunidades Escuelas e Instituciones sobre el Medio Ambiente Cuidado del Agua y Participación Social
- Reforestación en Campos y Sembradíos
- Implementar programas de Azoteas Verdes y Huertos Urbanos
- No tirar basura fuera de los lugares dispuestos para ello
- Limpieza de canales y arroyos
- Reforestación en la zona de los Amoles (parte alta de la microcuenca)

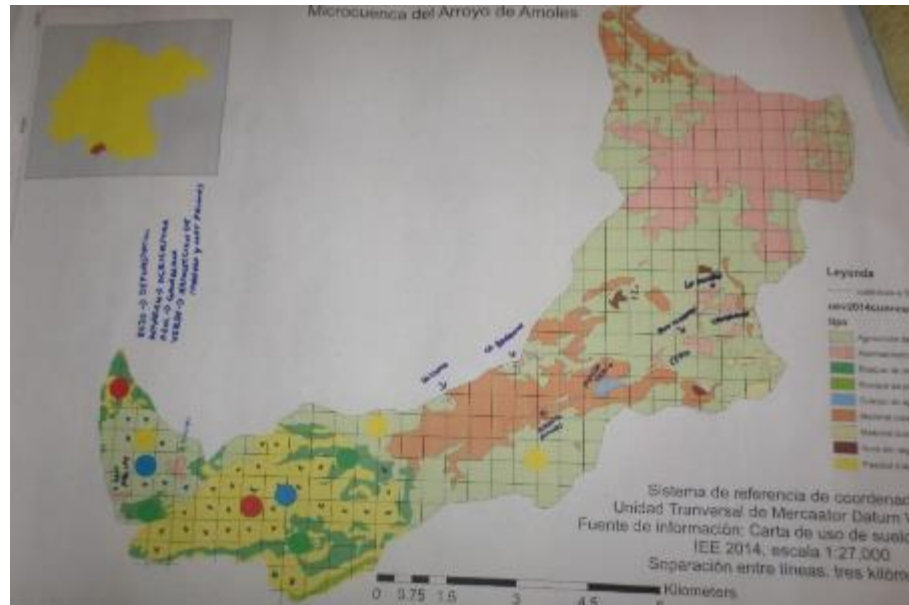


Figura 1. Mapa de zonas de provisión para el servicio de regulación de disturbios (inundaciones) según la percepción de los actores locales.

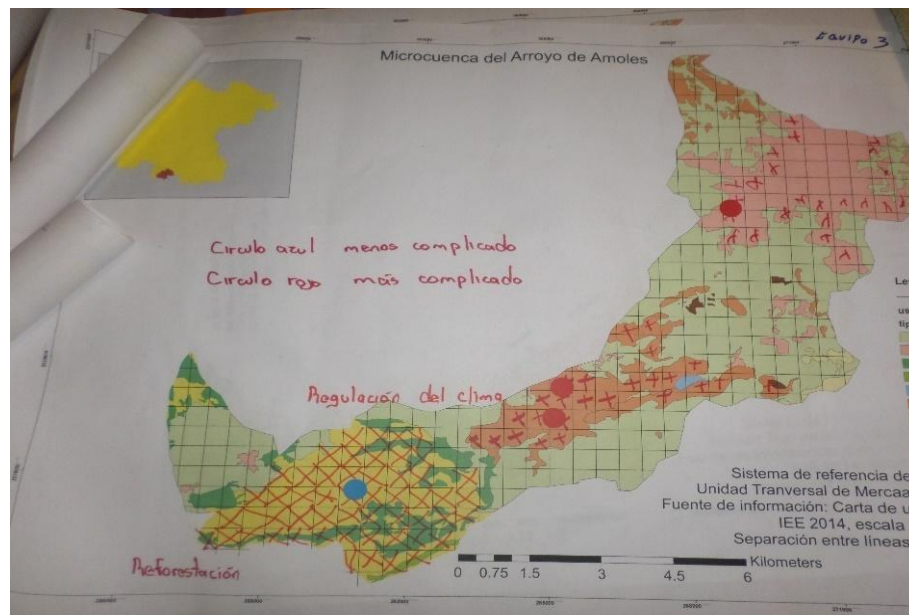


Figura 2. Mapa de zonas de provisión para el servicio de regulación del clima según la percepción de los actores locales.

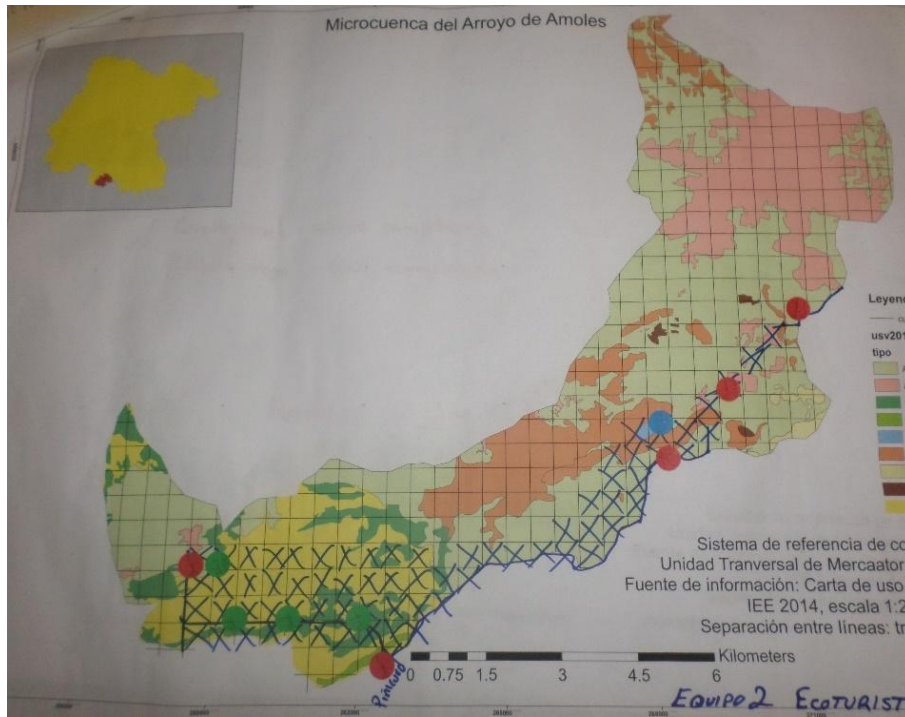


Figura 3. Mapa de zonas de provisión para el servicio ecoturístico según la percepción de los actores locales.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se concluye que la valoración de servicios ecosistémicos es viable para el caso de estudio ya que permite resaltar el papel de la vegetación en la parte alta de la cuenca para el control de inundaciones y cuyo conflicto principal es el uso de suelo para actividades de agricultura y ganadería. Por otra parte, se debe contextualizar de manera más amplia la problemática, las características del territorio y los usuarios de dichos servicios.

Los métodos de valoración de servicios ecosistémicos y en particular el utilizado en este ejercicio, sobre mapeo deliberativo, parte de una conceptualización positiva de la naturaleza como proveedora de servicios al bienestar humano. En el taller ejecutado se observó que los participantes, después de haber elaborado el ejercicio de valoración y mapeo, resaltaron la necesidad de implementar acciones para conservar la naturaleza en beneficio propio o de interés colectivo.

Los participantes no lograron comprender del todo el concepto de compensación por servicios ecosistémicos, por lo que en esta parte del taller en general se centraron en proponer medidas de restauración del ecosistema, principalmente reforestaciones y acciones de educación ambiental.

Por último, es necesario mencionar la importancia de proponer soluciones integrales desde una visión de la pluri y multidisciplina para el manejo la microcuenca como unidad de planeación ambiental. Es por ello, que instituciones como la Universidad Autónoma de Querétaro a través de su programa de Maestría en Gestión Integrada de Cuencas mantiene una línea de investigación relacionada con los servicios ecosistémicos en cuencas hidrológicas, en un esfuerzo por solucionar



problemas relacionados con la conservación de la naturaleza y los beneficios que esta provee a la sociedad.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece los funcionarios públicos de los municipios de Moroleón, Uriangato y Yuriria, de igual manera al H. Ayuntamiento de Moroleón y a la Dirección de Medio Ambiente de este municipio por las facilidades brindadas para la realización de este taller.

6. LITERATURA CITADA

- Cotler, H., Galindo-Alcántar A, González I, Pineda-López R y Ríos E. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. México, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. . Recuperado a partir de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx>
- Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA). (2003). Ecosistemas y Bienestar Humano: Marco para la Evaluación (Marco Conceptual de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio) (p. 31p.). WorldResourcesInstitute. Recuperado a partir de <http://www.millenniumassessment.org/>
- Geilfus, F. (1997). 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. IICA-GTZ. San Salvador, El Salvador. 208p.
- Instituto de Ecología del Estado (IEE). (2015). Documento de actualización del Programa de Manejo del Área Natural Protegida Cerro de Los Amoles. Guanajuato, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Principales Datos por Localidad ITER. Censo Nacional de Población y Vivienda. Recuperado a partir de www.inegi.org.mx
- Laterra, P., P. Barral, A. Carmona, L. Nahuelhual. 2015. ECOSER: protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial. . Recuperado a partir de <http://eco-ser.com.ar/>
- López, R. (2015) "Voluntad sin Límites. Memoria del Club de Leones de Moroleón. 2012-2015". Archivo Histórico del Municipio de Moroleón. 33 pp.
- Martín López, B. y Montes, C. (2010). Funciones y servicios de los ecosistemas, una herramienta para la gestión de Espacios Naturales. Guía Científica de URDAIBAI, UNESCO, 20pp.
- Palomo, I., Martín-López B. Zorrilla-Miras P. García D y Montes C. (2014). Deliberative mapping of ecosystem services within and around Doñana National Park (SW Spain) in relation to land use change. Regional EnvironmentalChange. 14:237–251. DOI 10.1007/s10113-013-0488-5
- Protección Civil del estado de Guanajuato (PC). (2010). Atlas de Riesgos del Estado de Guanajuato. Gobierno del Estado de Guanajuato.
- Protección Civil del estado de Guanajuato (PC). (2013). Plan de contingencias de lluvias y ciclones tropicales en el estado de Guanajuato. Recuperado a partir de <http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/>



IV CONGRESO
NACIONAL

MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

ProteccionCivil/swbcalendario_ElementoSeccion/407/PLAN_DE_CONTINGENCIAS_PA
RA_LA_TEMPORADA_DE_LLUVIAS_Y_CICLONES_TROPICALES_2013.PDF

- Vangstrup, U. (2015). Moroleón: la pequeña ciudad de la gran industria. Espiral. Estudios sobre Estado y sociedad, 2(4).



Extenso ID: 374. Sebastián Ricalde-Gonzalez^a y María de los Ángeles Piñas-Alvarez^b. IMPACTO DE ACTIVIDADES TURÍSTICAS SOBRE LA CUENCA DEL RÍO LA ANTIGUA. EL CASO DE JALCOMULCO, VERACRUZ, MEXICO

[Regresar al índice](#)

^a Universidad de Costa Rica, Maestría en Gestión Ambiental y Ecoturismo, sricalde@hotmail.com

^b El Colegio de Veracruz, Xalapa, Veracruz, Profesora e Investigadora,
angelespinaralvarez@gmail.com

RESUMEN

El municipio de Jalcomulco, en el Estado de Veracruz, ha presentado un desarrollo turístico acelerado desde hace tres décadas, basando su oferta en el segmento de aventura, específicamente en el descenso de río y las panorámicas que rodean la cuenca del Río Antigua, generando actividades complementarias como son rappel, tirolesa, cañonismo, etc. así como los servicios de hospedaje y alimentación. El *objetivo* del presente trabajo consistió en analizar los impactos de la actividad turística en Jalcomulco a través del Sistema de Indicadores de Sustentabilidad para el Turismo desarrollado por SECTUR a fin de plantear propuestas que mejoren la implementación del turismo de aventura en el destino. Se analizaron las características actuales de la oferta y demanda y se cuantificaron los impactos del turismo en los ámbitos ambiental, socioeconómico, turístico y de desarrollo urbano. Una vez analizada la situación actual del destino se identificaron problemáticas críticas que pueden comprometer la viabilidad turística del destino en un mediano o corto plazo y se plantean estrategias concretas para impulsar el turismo hacia la sustentabilidad.

Palabras clave: Turismo de aventura, Sistema de indicadores para la Sustentabilidad del Turismo, Jalcomulco, Veracruz, México

THE IMPACTS OF TOURISTIC ACTIVITIES ON LA ANTIGUA RIVER BASIN. THE CASE OF JALCOMULCO, VERACRUZ, MEXICO

ABSTRACT

Jalcomulco, a little town located in the state of Veracruz, has nowadays presented an enhanced development in the touristic sector for three decades. Their main proposal being founded on the adventure section, specifically the river descent, with activities and services such as rafting and rappelling. The aim of the present work is to analyze the impacts of touristic activity in Jalcomulco through the Sustainable Indicators System for Tourism developed by the Tourism Secretariat, and thus suggest ideas that will increase Adventure Tourism. To achieve this, the current supply and demand features of the according adventure destination were analyzed, as well as quantifying the effects of tourism on the environmental, socio-economic, touristic and urban development areas. Once the current situation of the touristic destination was studied, acute difficulties had been recognized, which can engage either on the short or long run with the tourism feasibility of the destination. Therefore, solid strategies arise in order to boost tourism towards sustainability.

Key words: Adventure Tourism, Sustainable Indicators System for Tourism, Jalcomulco, Veracruz, Mexico.

1. INTRODUCCIÓN

Problema

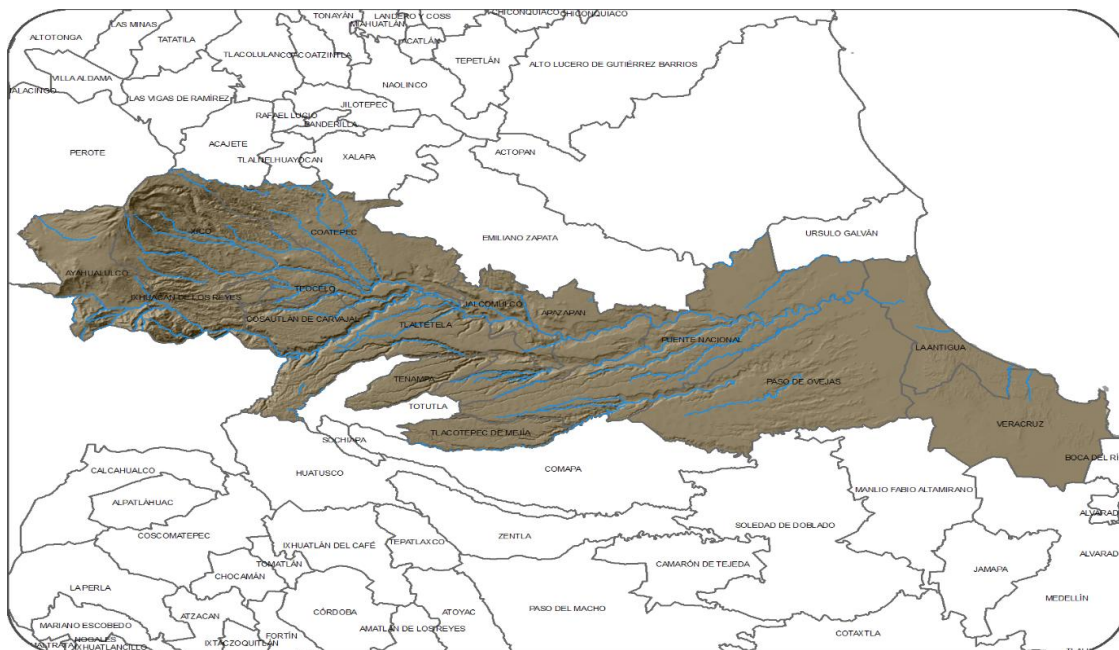
Jalcomulco es un municipio de 4,960 habitantes (INEGI, 2011) localizado en la región central del Estado de Veracruz. El municipio es atravesado por la cuenca del río Pescados, siendo el cuerpo de agua más representativo, de mayor importancia biológica y comercial de la zona. Esta cuenca pertenece a la Región Hidrológica No. 28 del río Papaloapan y tiene un área aproximada de 2,827 km² distribuidos entre los Estados de Puebla y Veracruz. Dicha cuenca, cruza la superficie de 15 municipios veracruzanos: Ixhuacán de los Reyes, Tenampa, Teocelo, Tlacotepec de Mejía, Tlaltetela, Xico, Coatepec, Jalcomulco, Apazapan, Ayahualulco, Cosautlán de Carvajal, Paso de Ovejas, Puente Nacional, Veracruz y La Antigua (CONAGUA, 2015). Tiene una longitud total de 139 km. a lo largo de los cuales desciende de una altura máxima de 4,200 msnm. hasta el nivel del mar. Destaca el vertiginoso descenso de los 2,600 msnm. a los 200 msnm en una distancia menor a los 40 km., rango en el que se encuentra el municipio de Jalcomulco, Veracruz (Figura 1). Este destino turístico de naturaleza atesora una gran riqueza biológica, enmarcada por abundantes cañadas que ofrecen espectaculares paisajes naturales y rurales a los visitantes (CONABIO 2015).



Figura 1. Ubicación del municipio Jalcomulco en Veracruz, México.

Fuente: Elaboración propia según google earth (2016).

Todo lo anterior se desarrolla en una cuenca con una fuerte problemática de contaminación aguas arriba según Niembro (2010), quien registra 318 beneficios de café, 45 granjas de cerdos y aves, 6 rastros y 45 trapiches; a ellos se suman 32 industrias diversas y las descargas domesticas de los 15 municipios por los que atraviesa el rio en la Cuenca del Río Antigua (Figura 2).



Fuente: Protección Civil, 2015



Un esfuerzo realizado por las autoridades, a fin de diagnosticar la situación turística de Jalcomulco, se remonta al año 2003, en el que la entonces Secretaría de Desarrollo Económico, Subsecretaría de Turismo de Veracruz junto con la Secretaría de Turismo Federal y el municipio, implementaron el Sistema de Indicadores de Sustentabilidad para el Turismo, siendo este una de las principales estrategias del programa federal *Agenda 21 para la Sustentabilidad del Turismo Mexicano*. Este programa federal tiene como finalidad plantear acciones en el corto, mediano y largo plazo, con el objeto de fortalecer la dinámica de las regiones turísticas y propiciar el desarrollo sustentable, consolidando el bienestar del ser humano, respetando el medio ambiente y optimizando los beneficios económicos y sociales de las comunidades. Específicamente, el Sistema de Indicadores ofrece las herramientas para realizar un diagnóstico con base en datos cuantitativos y cualitativos fundamentados en la opinión e información proporcionada por los diversos actores locales en los municipios o destinos turísticos, a fin de medir y monitorear las condiciones de cada destino (SECTUR y SEMARNAT, 2003).

El trabajo realizado hace poco más de una década no tuvo seguimiento alguno, convirtiéndose en un esfuerzo estéril por parte de las dependencias estatales y federales. Surge la necesidad de diagnosticar la situación actual del municipio y plantear acciones para mejorar el *modus operandi* de la actividad del destino turístico de aventura Jalcomulco.

Justificación

La actividad turística es uno de los motores económicos del mundo. La Organización Mundial del Turismo muestran el movimiento de 1 billón de turistas (2013) con un incremento de visitantes internacionales que suma 52 millones de turistas internacionales en el mundo, si bien América y el Caribe ha vivido una desaceleración respecto al año anterior (UNWTO, 2014).

La actividad turística es una alternativa viable para aumentar los ingresos y mejorar la calidad de vida de comunidades con potencial turístico. Sin embargo, para que la actividad turística sea rentable y sostenible a lo largo de los años, es necesaria una planificación estratégica e integral del destino, considerando aspectos muy diversos que van desde la constitución de asociaciones para el desarrollo y consolidación interna del proyecto, hasta el marketing y proyección del destino hacia el exterior y, por supuesto, estrategias de protección de los atractivos naturales. Según los autores Tobey, Clay y Vergne (1998), la sostenibilidad turística es posible, si los efectos de corto y largo plazo sobre el medio y la comunidad son reconocidos y mitigados adecuadamente; si se mantiene la viabilidad económica y biológica de largo plazo y si son protegidos los recursos de los que depende la actividad.

En este sentido Macario, Pasa y Ataide (2013), plantean la necesidad de disponer de indicadores de sustentabilidad como parte fundamental del proceso hacia la sustentabilidad turística. Con la finalidad de reducir la subjetividad a través de la medición de parámetros específicos. Esta opinión es compartida por Baca (2007), quien hace énfasis en la necesidad de monitorear los impactos del desarrollo del turismo, mediante evaluaciones que determinen los cambios positivos o negativos generados en las comunidades receptoras, utilizando indicadores económicos, socio culturales, ambientales e institucionales.



Desde hace más de una década, la Secretaría de Turismo de México, plantea una serie de indicadores para medir los impactos de la actividad turística en un destino y momento específicos, el Sistema de Indicadores para la Sustentabilidad del Turismo (SECTUR y SEMARNAT, 2003). Esta herramienta se aplicó en 8 de los 212 municipios del Estado de Veracruz, destacando Jalcomulco, municipio con una trayectoria de 30 años en el mercado de turismo de naturaleza, concretamente Turismo de Aventura. Hasta hoy, el turismo de naturaleza en la entidad federativa sigue siendo relevante. Sin embargo, se adolece de diagnósticos participativos y planeaciones que permita monitorear de manera continua y homologada los cambios positivos y negativos a lo largo del tiempo y, en base a lo encontrado, plantear acciones que encaminen la actividad a los principios de sostenibilidad económica, ambiental, social e institucional (Piñar-Alvarez, 2012). La herramienta de SECTUR fue y es una herramienta útil para la toma de decisiones e implementación de acciones específicas y planificadas desde el ámbito público (federal, estatal y municipal) y privado.

Objetivo

El objetivo es analizar los impactos de la actividad turística de aventura a través del Sistema de Indicadores de Sustentabilidad para el Turismo en el municipio de Jalcomulco, Veracruz, México.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se aplicó una metodología mixta con herramientas cuantitativas y cualitativas, trabajando con aspectos económicos, sociales y ambientales de la actividad turística en la comunidad de Jalcomulco. El primer paso fue una búsqueda bibliográfica exhaustiva sobre los impactos de la actividad turística en diferentes destinos, así como las diferentes metodologías para cuantificarlos. Ello nos condujo a acercarnos al Sistema de Indicadores de Sustentabilidad para el Turismo (SIST) planteado por SECTUR (2013) que ya había sido planteado 10 años antes a nivel federal, siendo aplicado en numerosos destinos turísticos del país. Durante esta etapa se realizó la selección y diseño de las herramientas implementadas en la fase de campo.

La siguiente fase del trabajo consistió en la aplicación de las herramientas previamente diseñadas. Para la identificación de impactos de la actividad turística, se aplicaron los cuestionarios propuestos por SECTUR (2013). Siendo 7 cuestionarios que van dirigidos a los *responsables de las diferentes áreas del municipio*. Se realizó una reunión en el ayuntamiento con las autoridades municipales correspondientes, haciendo las preguntas directamente y profundizando en temas de interés para esta investigación

Para la caracterización de la *oferta* se aplicó un cuestionario en cada establecimiento turístico, obteniendo información general y características funcionales de las empresas, tal y como muestra la tabla 1. Para la caracterización de la *demanda*, se repartió el instrumento diseñado entre las empresas del municipio, solicitando su apoyo para aplicarles la encuesta a sus *visitantes*, poco antes de finalizar su estancia en el alojamiento y destino turístico Jalcomulco.

El número de encuestas que se repartieron por empresa varió de 5 a 10, de acuerdo al tamaño del establecimiento.

Por último se analizó la información proporcionada a través de las herramientas aplicadas, pudiendo caracterizar la oferta y demanda actual del municipio.



Tabla 1. Herramientas aplicadas e información obtenida en Jalcomulco. 2015.

Actores	Información específica	Técnica	Instrumento
Empresarios	Caracterización de la oferta	Encuesta	Cuestionario para levantamiento de Inventario Turístico
Turistas	Caracterización de la demanda	Encuesta	Cuestionario de perfil y grado de satisfacción de visitantes
Autoridades Municipales	Impactos de la actividad turística en los enfoques ambiental, social y económico	Análisis de Contenido (SECTUR y SEMARNAT, 2003;SECTUR, 2013)	Guía de análisis Cuestionario del SIST
Municipio de Jalcomulco	Dinámica Turística de Jalcomulco	Observación	Guía de observación.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En cuanto a las autoridades municipales y los Indicadores de Sustentabilidad para el Turismo, se realizó una triangulación con la información de los mismos cuestionarios establecidos por SECTUR y SEMARNAT (2003) y SECTUR (2013) y el resto de las herramientas aplicadas, teniendo la visión del destino no solo desde el punto de vista de los funcionarios municipales y empresarios turísticos. Se hizo un comparativo entre el estudio previo realizado en Jalcomulco (2003) y el actual (2015), observando la transformación a lo largo de una década.

Por último se presentaron los resultados obtenidos, así como las propuestas realizadas de la presente investigación, a los empresarios turísticos y autoridades municipales, buscando validar la información obtenida y concientizarlos de las situación que enfrenta el municipios para crear un frente común que plantee y realice acciones en pro del turismo y la conservación de su principal atractivo, el río Los Pescados en la Cuenca del río La Antigua.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran tres tipos de *turistas* bien definidos en el destino, los visitantes que buscan divertirse en el río La Antigua, los que van a disfrutar la gastronomía regional a base de acamayaz y los que van a practicar deportes de aventura.

Para satisfacer la *demanda*, se han desarrollado servicios e infraestructura específicos para cada segmento. Los turistas que realizan actividades de aventura son los que llegan en mayor número a



Jalcomulco, representando el principal motor de la economía local. Los principales mercados para el destino están conformados por la Ciudad de México y Puebla, siendo representativos los visitantes del Veracruz. Los aspectos más valorados por los turistas para decidir su viaje fueron la hospitalidad tanto de los empleados como de los habitantes, las actividades bien organizadas, los precios, la exuberante vegetación y el río Los Pescados, siendo este último la columna vertebral de la actividad turística.

Referente a la *oferta* que presenta Jalcomulco, se determinó que actualmente está conformada por 6 empresas de hospedaje, 10 restaurantes y 26 compañías especializadas en el segmento de aventura, siendo evidente una falta de regulación del consumo de los recursos naturales. Es el caso del vital líquido, agua potable, que no tiene precio para la población, incluidos los empresarios. Hablamos de una política paternalista que desvaloriza el recurso hídrico: lo que no se valora, se desvalora y no se cuida. En su gran mayoría, las empresas del municipio no cuentan con estrategias para reducir su consumo de agua, luz y producción de basura, a pesar de la dependencia directa de la actividad turística ofertada hacia la buena calidad y uso de los recursos y atractivos naturales de la zona.

Referente a la aplicación del *Sistema de Indicadores, SIST*, se determinó que los ámbitos con mayor número de variables en condición de atención prioritaria son el medio ambiental y el desarrollo urbano, mientras que turístico es el que presenta más variables en condición favorable. Esto muestra que actualmente la actividad económica de Jalcomulco se centra en mejorar aspectos netamente turísticos: la satisfacción del turista, la estadía y gasto promedio en el destino, con beneficios escasos generados por la actividad turísticas en cinco de las seis localidades del municipio y en otros sectores económicos (pesca, agricultura, ganadería y artesanías). A ello se suma la urgencia de proteger al paisaje rural y natural que rodea a Jalcomulco y, ante todo, defender al río La Antigua, no sólo en contra de hidroeléctricas, sino a favor de su salud de sus aguas, contaminadas por vertidos industriales y municipales.

Además del diagnóstico, se elaboraron propuestas concretas para mejorar la dinámica turística de Jalcomulco. Se plantean 7 estrategias que podrían ayudar a mejorar la situación actual del destino:

- 1- Sensibilizar a los habitantes de Jalcomulco para consolidar la vocación turística como destino de naturaleza hacia prácticas sustentables.
- 2- Mejorar la infraestructura básica (agua y residuos sólidos urbanos), el aspecto urbano e imagen del destino.
- 3- Actualizar y elevar la calidad de los servicios.
- 4- Activar la representación social de los diferentes prestadores de servicios
- 5- Defender al río La Antigua, no sólo en contra de hidroeléctricas, sino a favor de su salud.
- 6- Impulsar proyectos agropecuarios, pesqueros y artesanales en las comunidades del municipio para desarrollar proveedores turísticos de alimentos frescos y sanos y artesanías locales.
- 7- Promocionar Jalcomulco como destino de aventura sustentable.

De estas estrategias se desprenden cuatro programas específicos que son “Aventúrate en la semana a Jalco” (suma las Estrategia 1, 3, 4, 7), “Infraestructura para el bienestar de todos” (Estrategia 2),



“Jalcomulco produce y consume” (Estrategia 6) “Recuperando y conservando la salud del Río y Patrimonio Natural de Jalcomulco” (Estrategia 5).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Comparando los resultados obtenidos en la presente investigación con otros trabajos, se encuentran similitudes, sobre todo en lo referente a la problemática que viven otros destinos turísticos tras la aplicación del programa en 115 municipios turísticos a nivel nacional desde el año 2003 y presentada por la SECTUR (2013) tal y como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Principales problemáticas en destinos turísticos a nivel nacional

Tema	Problemática
Medio Ambiente	1. Carencia de una planta de tratamiento de agua residual 2. Inexistencia de un relleno sanitario conforme a la norma 3. Falta de un programa para el manejo de residuos peligrosos.
Turismo	4. Baja participación de los establecimientos turísticos en programas de competitividad 5. Baja participación de los establecimientos turísticos en programas de certificación ambiental
Desarrollo Urbano	6. Inexistencia de un Plan de Desarrollo Urbano vigente y decretado 7. Falta de un Programa de Ordenamiento Ecológico de nivel local 8. Elevado índice de vivienda precaria 9. Inexistencia de un Reglamento de Imagen Urbana

Fuente: SECTUR (2013)

Estas mismas problemáticas fueron encontradas en Jalcomulco en el 2015. Siendo necesaria la implementación de estrategias eficientes que mejoren la realidad turística en México, buscando minimizar el deterioro ambiental para que el destino estudiado o cualquier otro destino de México incremente su competitividad.

En este sentido, Ceballos (1998) identifica como causas del deterioro de los destinos turísticos dos principales motivos, el descontrolado y excesivo desarrollo de infraestructura turística y la contaminación ambiental por el mal manejo de los residuos sólidos urbanos y el deterioro del agua. Casi 20 años después, identificamos que las dos condiciones mencionadas por el autor se presentan en el “Caso Jalcomulco”, caracterizado por la carencia de planificación urbana, ecológica y turística, que desencadena un desarrollo de infraestructura caótico, el consumo excesivo de recursos naturales y la contaminación acelerada del principal recurso natural y clave para el Estado de Veracruz, el atractivo natural Río La Antigua. Estas condiciones se repiten en las recientes 44 Agendas de Competitividad Turística repartidas por el territorio mexicano y muy concretamente en Veracruz, en destinos que viven de los atractivos naturales (especialmente río), culturales e



histórico monumentales (Piñar-Alvarez y Del Castillo, 2014). De esta manera se reitera la urgencia de planear estratégicamente desde la elaboración del diagnóstico con los habitantes, tomando acciones conjuntas que eviten el deterioro ambiental del municipio como destino turístico.

Con este trabajo se concluye que el municipio de Jalcomulco es uno de los principales destinos de aventura de México, concentrando a parte importante de las empresas y recurso humano especializado en el segmento. Sin embargo, hay una falta de regulación de la actividad turística, que favorece un crecimiento desordenado de la misma, llevando a un deterioro galopante de los recursos naturales.

Es necesario concientizar a los actores locales (municipio, empresas y visitantes) de la situación actual del destino, especialmente el atractivo ancla Río La Antigua, para plantear acciones conjuntas que impulsen el destino mismo y las alianzas con los otros catorce municipios que permitan incrementar la calidad del agua que conforma la Cuenca Hidrográfica.

El turismo es una actividad que puede detonar la economía local, pero necesita realizarse con una buena planeación para perdurar en el tiempo sin deteriorar los recursos naturales y sociales para presentes y futuras generaciones. El Plan de Desarrollo Turístico Sustentable presentado en el municipio con cuatro programas de acción es una herramienta de suma utilidad para los actores locales.

5. LITERATURA CITADA

- BACA, P. R. 2007. Río San Juan: El turismo y sus impactos en una comunidad fronteriza Centroamericana. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental y Ecoturismo. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. pp. 177.
- CEBALLOS, L. H. 1998. Ecoturismo, naturaleza y desarrollo sostenible. Editorial Diana. México, D.F., 172 pp.
- CONABIO, 2015, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_077.html (consultado el 21/05/2015)
- CONAGUA, 2015, Comisión Nacional de Agua. Atlas del Agua. www.conagua.gob.mx/atlas/ (consultado 07/mayo/2015).
- NIEMBRO, R. A. 2010. Jalcomulco y el desafío de la gobernabilidad. Tesis de Maestría en Desarrollo Sustentable. Universidad Nacional de Lanús, Buenos Aires, Argentina. Pp. 139.
- MACARIO, O. V., Pasa, G. C. y Ataíde, C.G. 2013. Indicadores de Sustentabilidad para la Actividad Turística. Una propuesta de monitoreo usando criterios de análisis. Estudios y perspectivas en Turismo. Volumen 22, pp. 177 – 197.
- PIÑAR-ÁLVAREZ, M.A. 2012. “Turismo y medio ambiente: interacción, análisis y perspectivas en el Estado de Veracruz”. En: Vela Martínez y González-Rebolledo (Coords.), Propuesta para el desarrollo estratégico de Veracruz 2010-2020. Secretaría de Educación de Veracruz, Xalapa/México. Pp. 247 a 304.
- PIÑAR-ÁLVAREZ, M.A. y DEL CASTILLO-JIMÉNEZ, E. 2014. Agenda de Competitividad del destino turístico Tlacotalpan, Patrimonio Cultural de la Humanidad. El Colegio de Veracruz- Secretaría de Turismo y Secretaría de Turismo y Cultura. Xalapa.



(Fecha de búsqueda, 15 abril 2015). <http://www.sectur.gob.mx/programas/gestion-de-destinos/productos-turisticos/virreinal/tlacotalpan/>

- SECTUR 2013. Secretaría de Turismo. Agenda 21 para el Turismo Sustentable. Sistema de Indicadores. SECTUR. México.
- SECTUR y CESTUR 2007. Secretaría de Turismo y Centro de Estudios Superiores en Turismo Elementos para evaluar el impacto económico social y ambiental del Turismo de Naturaleza en México. SECTUR-CESTUR. México
- SECTUR y SEMARNAT 2003. Secretaría de Turismo y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Agenda 21 para la Sustentabilidad del Turismo. Sistema de Indicadores Diagnóstico de Jalcomulco. SECTUR y SEMARNAT. México.
- SEFIPLAN. 2015. Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz. Cuadernillo Municipal de Jalcomulco. Gobierno de Veracruz. México.
- (Fecha de búsqueda, 15 abril 2016). <http://www.sectur.gob.mx/programas/gestion-de-destinos/productos-turisticos/virreinal/tlacotalpan/>
- TOBEY, J., CLAY, J. Y VERGNE, P. 1998. Manteniendo un balance: impactos económicos, ambientales y sociales del cultivo de camarón en Latinoamérica. Centro de recursos costeros. Universidad de Rhode Island. pp. 62.
- UNWTO (World Tourism Organization) 2014 Annual Report 2013, UNWTO, Madrid, España. 45p.
. http://dtxqtq4w60xqpw.cloudfront.net/sites/all/files/pdf/unwto_annual_report_2013_0.pdf.
(Consultada el 08 de enero de 2016).



Extenso ID: 103. Eveline Woitrin Bibot. ALTERACIÓN DE LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS DE TEMPORAL EN LA CUENCA DEL RÍO SILAO, ESTADO DE GUANAJUATO: ¿CAUSAS CLIMÁTICAS O ANTRÓPICAS?

[Regresar al índice](#)

RESUMEN

La ocurrencia de un evento natural extremo en una región agrícola —como una sequía— suele desestabilizar los procesos naturales del área afectada e impactar en las formas de sustento de los pequeños agricultores de temporal quienes dependen directamente de las lluvias para asegurar sus cosechas. La baja pluviosidad que afectó gran parte del territorio mexicano y entre otros estados, el de Guanajuato, durante los años 2009-2012 dio pie para investigar los efectos de la sequía sobre las actividades de sustento de los agricultores de temporal de la cuenca del río Silao e identificar las estrategias adoptadas para enfrentar y compensar sus impactos negativos. Para acercarse a esta realidad, se realizaron entrevistas semiestructuradas durante la primavera 2013 a campesinos de 11 localidades establecidas en el tramo superior de la cuenca del río Silao, dentro de un gradiente altitudinal de 580 m. Al abordar los efectos causados por la falta de lluvia en su entorno inmediato, los campesinos comentaron acerca de la extracción de los recursos naturales de su cuenca y de los impactos generados en cuanto a la disponibilidad de agua, evidenciando su conciencia de la interrelación existente entre algunas acciones antrópicas y las alteraciones del régimen hidrológico del río. Las explotaciones toleradas de leña, carbón, humus, arena y agua se vienen realizando desde décadas atrás pero su reciente intensificación, combinada con la escasa pluviosidad de los últimos años, ha alterado profundamente los procesos naturales de la cuenca y, por ende, las formas de sustento de los campesinos quienes explican de esta manera las alteraciones padecidas río abajo. El estudio mostró que la sequía hidrológica y agrícola que se presentó en la cuenca no solamente resultó de la baja pluviosidad sino que fue ampliamente favorecida por las acciones antrópicas realizadas en cada uno de los tramos de la cuenca. La sequía sólo vino a agravar los ya sentidos y acumulados efectos de las acciones humanas sobre el territorio.

Palabras clave: *sequía, semiárido, entrevistas semiestructuradas, extracción de recursos naturales*

1. INTRODUCCIÓN

Para los agricultores de temporal, la ocurrencia de un evento natural extremo como una sequía suele afectar sus formas de sustento debido a que el desarrollo de sus cultivos depende únicamente de las lluvias. En este sentido, la baja pluviosidad que marcó gran parte del territorio mexicano, incluyendo el estado de Guanajuato, durante los años 2009 a 2012 dio pie para investigar los efectos de la sequía en las actividades productivas y de sustento de los agricultores de temporal de la cuenca del río Silao e identificar las estrategias que adoptaron para enfrentar los impactos negativos de la escasa pluviosidad.



El estudio realizado a partir de entrevistas semiestructuradas a campesinos de 11 localidades de la cuenca del río Silao permitió evidenciar que la baja productividad agrícola no resultó del sólo evento climatológico sino que los efectos del primero interactuaron con los cambios antrópicos del área: esta combinación de factores provocó el deterioro de la salud ecológica y de la dinámica hidrológica de la cuenca.

Este texto inicia con una contextualización climática del periodo de estudio y un repaso de los principales cambios de uso del suelo que tuvieron lugar en la parte baja de la cuenca del río Silao durante las últimas décadas, describiendo así el contexto en que se desarrolló el trabajo de investigación. Posteriormente, el trabajo incorpora los testimonios de los campesinos acerca de su percepción del evento climático y de las alternativas de sustento que desarrollaron o venían desarrollando desde décadas atrás. Se verá cómo la sobre extracción de los recursos naturales locales, en interacción con la baja pluviosidad, modificó la dinámica hidrológica de la cuenca y el rendimiento de las actividades agropecuarias.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Contextualización climática del área de estudio

El año 2011 será recordado en México como el año que, según el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), presentó los niveles más bajos de precipitación en las últimas siete décadas. Esta sequía, que afectó la mitad del territorio nacional, se presentó como una sequía severa y atípica en grandes extensiones del estado de Guanajuato donde, durante los años 2009 a 2012, entre el 50 y el 80% de los municipios de dicho estado obtuvieron, para uno o más años, la declaratoria de contingencia climática por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) y/o de desastre natural por la Secretaría de Gobernación (Segob). Dichas declaratorias abarcaron los municipios de Silao y Guanajuato –por donde corre el río Silao– en 4 y 3 años respectivamente.

Con esta declaratoria, los pequeños productores agrícolas de temporal que cumplen con los requisitos pueden beneficiarse de los programas de apoyo diseñados para compensar las pérdidas vinculadas con una causa natural¹⁷. De hecho, ellos son los primeros afectados por depender únicamente de las precipitaciones para el riego de sus parcelas de maíz o de frijol cuyos productos se destinan parcial o totalmente al autoconsumo.

Recordemos que la sequía es un fenómeno natural, recurrente, prolongado e imprevisible que se distribuye en todas las regiones del planeta y a lo largo de todas las épocas (Hernández, 2007). Historiadores como Enrique Florescano (2000) han documentado la recurrencia de los episodios de sequía, sobretodo en el semiárido mexicano, así como sus impactos en la vida económica y sociopolítica del país. Por ello, la sequía es un hecho climático que impacta en el sistema natural

¹⁷ El Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC), hoy conocido como Componente de Atención a Desastres Naturales (Cadena), debe paliar las pérdidas económicas resultantes de las malas cosechas y permitir, mediante los apoyos, que los productores agropecuarios de bajos ingresos puedan reincorporarse a sus actividades. En 2012, los campesinos afectados por la sequía del verano anterior cobraron 1200 pesos por hectárea sembrada, con un máximo de 5 hectáreas por productor.



(baja productividad agrícola, en este caso) y se convierte en un fenómeno social cuando afecta al bienestar de la población (Pita, 1989).

En el estado de Guanajuato, las precipitaciones se concentran en verano, entre junio y septiembre; presentan una media anual de 650 mm pero este dato varía en cuanto a la localización alcanzando entre 400 y 750 mm según las zonas del estado. Además de esta fluctuación por motivos geográficos, se presenta también una fuerte variación interanual que se refleja en los volúmenes y en la distribución temporal de las lluvias. De esta manera y según los años, las lluvias pueden llegar temprano o atrasarse con respecto a lo habitual, pueden durar poco o interrumpirse durante largas semanas en la forma de sequías intraestivales o veranillos. La siguiente tabla (Tabla 1) muestra los niveles de precipitación en las dos estaciones climatológicas de Conagua instaladas en la cuenca. Se observa la variabilidad que puede presentarse en un periodo corto de ocho años (2006-2013) la cual presenta extremos de 871.5 mm a 257.7 mm en Arperos y de 651.7 mm a 322.4 mm en Chichimequillas, como se aprecia en la Tabla 1.

Arperos													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Anual*
2006	0	0	0	0	111	119	108.4	221.6	193.1	73.1		16.3	842.5
2007	27.3	24.2	1	6.6	27.7	195.1	190.3	47.6	57.2	0	14.2	0	591.2
2008	6	8	0	2	20.9	185.5	200.7	354.4	84.3	9.7	0	0	871.5
2009	5.6	0	8.8	11.9	79.6	108	157.4	50.3	262.2	41.2	1.3	23.6	749.9
2010	52.2	136	10	0	0.8	58.7	161.4	98	110.4	0	0	0	627.5
2011	2	0	0	1.9	0	39.8	61.6	78.5	45	28.9	0	0	257.7
2012	40	73.7	0	0		46.1	14.1	120.8	46.2	0	24.4	8.7	374
2013	18.5	0	0	0	22.6	69.9	216.6	68.6	142.1	45.2	5.2	46.8	635.5
Chichimequillas													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Anual*
2006							94	145	116.6	126	8	0	489.6
2007	0	0	13.8	0	0	192.6	193	109.7	48.5	0	3.8		561.4
2008	59	33.8	0	0	0	10	146	74.2	14	9	0	0	346
2009	0	4	8.2	0	72	68	21.4	18	121.2	40.1	0	0	352.9



2010	20	94	0	0	0	24.2	193	122.2	176	0	0	0	629.4
2011	0	0	0	2	0	10	74.2	104.2	68	64	0	0	322.4
2012	0	48.6	0	16.2	2	30.4	134.2	184	2	0	16	0	433.4
2013	18.2	0	0	0	8	35	128.8	135.5	184.9	44	32.8	64.5	651.7

* Los valores en cursiva suman datos anuales incompletos.

Tabla 1: Niveles de precipitación 2006-2013. Elaboración propia a partir de datos climatológicos de Conagua.

Todas estas variaciones pueden ser desfavorables al buen rendimiento del principal cultivo de la cuenca, a saber el maíz de temporal. Esta planta requiere en promedio, para cada ciclo productivo, unos 650 mm de agua que deben ser adecuadamente distribuidos a lo largo de los periodos críticos que son el espigamiento, la formación de la mazorca y el llenado de grano (Ruiz *et al.*, 1999). En caso de una pluviosidad insuficiente o mal distribuida, el campesino sólo cosechará el rastrojo para alimentar a sus animales pero no obtendrá el grano necesario al consumo familiar.

Contextualización antrópica del área de estudio

La cuenca del río Silao nace en la sierra de Santa Rosa¹⁸ –perteneciente al municipio de Guanajuato– y cruza posteriormente el municipio de Silao, desde su parte elevada hacia la llanura del Bajío. Dicho municipio ha vivido grandes transformaciones en las últimas décadas al dejar de ser un municipio ampliamente centrado en productivas actividades agrícolas de riego y de temporal para transformarse en una entidad perteneciente a la Zona Metropolitana de León con un importante desarrollo de la industria automotriz y de la agroindustria de riego¹⁹.

Los grandes cambios de uso del suelo, dentro de la parte plana del municipio de Silao, se dieron en dos sentidos: el primer cambio se dio con la construcción de grandes infraestructuras (el aeropuerto internacional del Bajío en 1990 y el Puerto Interior en 2006 en más de 1500 ha de tierras agrícolas) y la creación de dos parques industriales centrados en la industria automotriz (Figura 1). El segundo gran cambio de uso del suelo reside en la introducción de riego en tierras que anteriormente eran cultivadas en la modalidad de temporal. Ambos cambios (industria automotriz y agroindustria), intensificaron la presión sobre el recurso agua a través de la sobreexplotación de las aguas subterráneas, lo que derivó en el abatimiento de hasta 0.5 m anual de los mantos acuíferos (Ramos Arroyo *et al.*, 2016).

¹⁸ Parte de la Sierra Central.

¹⁹ Entre 1970 y 2009, el Instituto de Ecología del estado de Guanajuato registró un aumento de más de 1,300 ha incorporadas anualmente a la agricultura de irrigación así como la desaparición de más de 2 mil hectáreas anuales dedicadas a la agricultura de temporal. Con esta conversión de tierras de temporal a tierras de riego, se han perforado nuevos pozos, muchos de ellos de forma irregular.

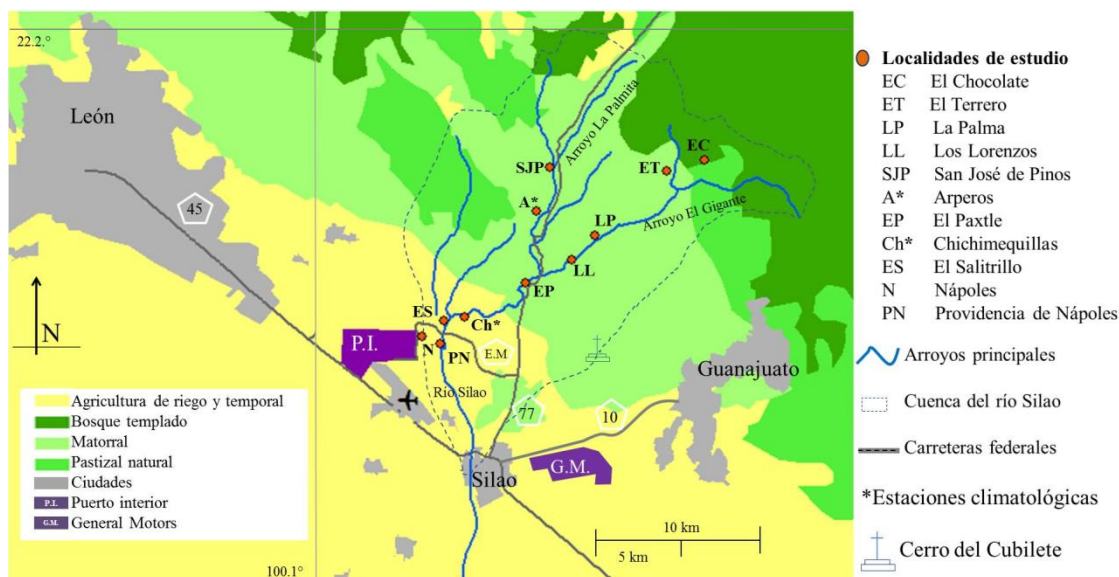


Figura 1: características naturales y antrópicas del área de estudio

Preguntas y metodología de investigación

Es en este contexto climático y de cambios de uso del suelo que se plantean las siguientes preguntas: ¿Cómo los campesinos de temporal percibieron estos años de sequía? Y, a partir de esta percepción ¿A cuáles estrategias de sustento recurrieron para compensar el bajo rendimiento de sus cosechas de maíz? ¿Pudo el entorno inmediato –natural o industrial– proporcionarles las alternativas requeridas?

Se determinó trabajar en comunidades cuyos campesinos habían sufrido pérdidas en sus cosechas y habían cobrado los apoyos del PACC durante uno o más años de sequía. Las 11 localidades seleccionadas están asentadas a lo largo del río Silao o de uno de sus principales afluentes en un gradiente altitudinal de 580 m entre los 2400 y 1820 msnm. Esta localización geográfica permitió identificar tres entornos naturales y sociales diferenciados entre sí, por lo que los datos y resultados del estudio se organizaron y analizaron a partir de una división de la cuenca en tres tramos: la cuenca alta, media y baja. La población de dichas localidades era reducida: entre 21 y 2518 habitantes según la localidad, sumando cerca de 11,800 personas (INEGI, censo 2010).

Ha sido necesario combinar datos cuantitativos y cualitativos para responder las preguntas de investigación, identificando sin embargo sus limitaciones, como en el caso de los mapas de vegetación y de cambios de uso del suelo cuyas fechas de elaboración no se ajustan al periodo en estudio. Aunado a eso, ciertos procesos irregulares de extracción de recursos naturales como el carbón, la leña o la arena no quedan registrados. Por estas razones, el trabajo de campo y las entrevistas semiestructuradas llevadas a cabo con los habitantes representaron una valiosa aportación para identificar y analizar los procesos naturales y sociales del área.²⁰

²⁰ Los testimonios fueron recopilados entre abril y junio 2013 luego de cuatro años de reducida pluviosidad y en una época de incertidumbre ante la temporada de lluvia por iniciar.



De hecho, el acercamiento cualitativo permitió aprehender las representaciones sociales de los habitantes ante un entorno alterado por la escasez de agua; también facilitó la identificación de las estrategias de adaptación implementadas por los hogares ante las nuevas condiciones climáticas. Este enfoque cualitativo coloca al centro de la investigación a los usuarios del espacio geográfico modificado (Vallés, 2007). No sólo basta con saber cuántos mm de agua cayeron en el periodo de referencia, sino que se requiere llegar a identificar lo que representa esta reducida pluviosidad para los habitantes, cuál es su visión de este fenómeno incierto y recurrente y cómo construyeron nuevas prácticas en torno a ella.

En el transcurso del trabajo de entrevista en el que se cuestionó a los habitantes de la cuenca sobre los efectos causados en su entorno inmediato por la falta de lluvia, resultó inesperado escucharlos abordar espontáneamente lo que ellos consideran como una explicación importante de la falta de agua: la extracción de los recursos naturales en cada uno de los tramos de la cuenca. Es lo que presenta el siguiente apartado.

3. RESULTADOS

Percepción de los cambios en la pluviosidad

Los campesinos perciben una reducción en los volúmenes y en la duración de las lluvias con respecto a hace 20 o 30 años, sin embargo no usan espontáneamente el término de sequía. Expresan que la incertidumbre y la variabilidad climática son inevitables y que estos factores son indisolubles de la vida del campesino de temporal.

Las lluvias no son como antes y han ido de más a menos. No llegan para el 15 de mayo, como antes se acostumbraba, y se van temprano y apenas duran 3 meses.

Antes, si acaso las lluvias venían retrasadas, después llovía bien. Ahora si vienen a tiempo, no vienen suficientes y se retiran antes de que esté el producto.

Las lluvias están limitadas (...) pero siempre hay algo de lluvia. Sólo estamos faltados de lluvia. Nunca nos hemos quedado sin agua como se escucha decir que pasa en Chihuahua y Durango. Ahí es donde de veras hay una verdadera sequía y da cosa ver cómo ellos están batallando con el agua.

Sabemos que sí va a llover pero no sabemos si mucho o poco. Hay veces que puede venir bien y veces que puede venir mal pero no es seguro porque es temporal (...). No hay nada seguro pero no debemos perder la fe en Dios de que tiene que llover.

Con esta percepción de un evento natural y esperado —por ser recurrente—, los campesinos vivieron estos cuatro años de sequía como algo poco dramático. Por lo que el fenómeno natural en sí no parece haber justificado o favorecido grandes cambios en sus vidas y formas de sustento. Si bien afirman que tuvieron que gastar más en comprar maíz y tortillas y que batallaron para alimentar a sus pocas cabezas de ganado, sólo algunos tuvieron que abandonar a su suerte, en el monte, a algunos de sus animales por falta de rastrojo. Como se verá a continuación, mencionaron también haber tenido que diversificar, aún más, sus fuentes de ingreso optando por “entrarle” más a la extracción de los recursos naturales propios a su tramo de cuenca: carbón, leña, humus (cuenca alta), agua y arena (cuenca media y baja).



¿Cómo compensaron el bajo rendimiento de sus actividades agrícolas?

- En la cuenca alta:

Localizada entre las elevaciones de la Sierra Central en una zona de lomeríos altos con fuertes pendientes (2310-2490 msnm), la parte superior de la cuenca presenta un alto índice de escurrimiento de agua que permite, a través de las fracturas y grietas de la sierra, alimentar por infiltración a los manantiales y a los acuíferos que, a su vez, permitirán el riego de las fértiles tierras del Bajío. El área de la cuenca alta se encuentra parcialmente desforestada; sus suelos son delgados y erosionados, y por lo tanto cuentan con una reducida productividad agropecuaria. En un ecosistema con tales características, los habitantes reconocen que “echar leña, hacer carbón y recoger humus es necesario si uno quiere vivir aquí”.

Antes había buenas cosechas de maíz y frijol y uno no tenía que meterse tanto al carbón; pero si no hay agua para sacar buenas cosechas, no queda de otra: se tiene que trabajar la leña y el carbón y sacar humus, porque con poco maíz es necesario echar carbón, y eso no lo tenían que hacer antes.

Para mantenerse aquí, uno tiene que tener de todo: unas orillas propias de bosque, unas tierras, unas chivas y unas vacas.

La leña y el carbón es lo que hace fuerte al rancho, pero si todos nosotros anduviéramos en el cerro, en la lucha del carbón y de la leña, ¡olvídense! ¡Acabaríamos con la arboleda!

Estas palabras reflejan la necesidad de diversificar las fuentes de ingreso de cada unidad doméstica, pero también las posibles consecuencias por extraer de manera excesiva los recursos naturales. La deforestación histórica de esta parte de la sierra, —donde se quemaba la cal necesaria a la construcción de las haciendas mineras de Guanajuato—, ha dejado una conciencia y un incitante a moderar la extracción de los recursos maderables. No obstante, la entrada de la mecanización (moto sierra y camiones de 3 toneladas remplazando al hacha y a los burros), así como de personas externas al área, han permitido que los límites de su explotación sustentable fueran rebasados en un contexto de clandestinidad y de falta de control institucional.

- En la cuenca media:

Caracterizada por ser una zona de transición entre la parte elevada de la Sierra Central y la planicie del Bajío, la cuenca media presenta suaves pendientes que albergan pastizales y una vegetación de huizaches y cactáceas. A lo largo del río, los habitantes solían tener huertas de aguacates, duraznos y guayabas que regaban con la corriente del río o arroyos mediante unos pequeños canales; representaban un ingreso apreciable para los hortelanos. Pero esta forma de riego se ha vuelto costosa debido a la necesidad que se tiene ahora de bombear el agua de un cauce que se encuentra por debajo del nivel de las tierras de cultivo, a raíz de la sobre extracción de arena del cauce. Esta explotación se hace con maquinaria pesada para su comercialización fuera de la localidad, a la luz del día y desde muchos años, y a pesar de saber las afectaciones que provoca, los habitantes no se atreven a pararla para evitar conflictos.

Baja el río y no dura, se seca muy pronto. El agua no dura porque hay mucho saqueo de arena. Porque es la arena la que almacena el agua. Si no hay arena, no se almacena el agua. Como el agua



se va de paso, no le sacamos mucho provecho porque baja y no llena los freáticos de aquí; además no la podemos meter a las huertas porque el río está muy abajo del nivel del suelo.

Yo tenía un pozo y cuando sacaron la arena [río arriba, hace 30 años], se secó mi pozo. Entonces todas las huertas que teníamos pegadas al río se secaron y se acabaron, y ahora está todo muy feo.

En breve, la productividad de las huertas declinó debido al precio del combustible, a una dinámica hidrológica alterada por la falta de arena en el cauce y, en ciertos años, por una pluviosidad insuficiente. Pero los relatos hacen mayor énfasis en las alteraciones antrópicas que en el factor climático.

Sumado a la extracción de arena que cancela los procesos de infiltración y de recarga de los pozos (Ponce, s.f., Vázquez González, s.f.), unos campesinos optaron, ante el difícil riego de sus huertas, por vender el agua de sus pozos a una compañía minera asentada en una cuenca vecina. Con los volúmenes saqueados y transportados por camión-cisterna, la baja pluviosidad y la falta de recarga natural de agua subsuperficial, se agotó el pozo comunitario destinado al consumo doméstico de la población, por lo que el delegado tuvo que solicitar el suministro de agua por pipa para abastecer a esta comunidad que solía ser totalmente autosuficiente en su abastecimiento²¹.

En este tramo de la cuenca, las progresivas pérdidas de producción agropecuaria resultantes de los cambios naturales y sociales del área han llevado gran parte de los jóvenes a ocupar los empleos ofertados por los sectores industriales y de servicios asentados en una zona geográfica cercana.

- En la cuenca baja:

En torno a los 1800 msnm, la cuenca baja presenta el horizonte del altiplano del Bajío guanajuatense caracterizado por su fuerte vocación agrícola desde la Colonia. Ahora es también valorado por sus aluviones profundos de arena localizados justo por debajo de la capa fértil. Si bien esta característica geológica ha motivado la extracción de arena de las parcelas agrícolas desde décadas atrás, se encuentra actualmente alentada por las obras del Puerto Interior donde se realizan excavaciones para la construcción de bodegas industriales. De estas remociones resultan importantes volúmenes de tierra que son depositados en las parcelas una vez retiradas las venas de arena. Con ello, se empareja el suelo para volver a darle un uso agrícola. Es sin embargo sabido que la extracción de materiales por despalme altera ampliamente el patrón de infiltración a los mantos acuíferos al acabar con la estructura natural del suelo.

Empezaron hace unos 20 años; vieron que era muy productivo [fructífero] y le siguieron. En ese entonces, las parcelas daban para mantenerse [de la agricultura], luego vieron que sacando el arena le deja a uno un poco más de dinero. Vieron que si eso me da lo que me daría la parcela en 4 o 5 años, mejor ganarlo todo junto.

Es un beneficio rápido y seguro pero hay que reconocer que sólo es de un ratito. Hay que ver que aquí hay mucha necesidad y si la gente sabe que en su parcela hay arena, pues la explota.

Pero para la gran mayoría de las familias de la cuenca baja, las alternativas a las actividades agropecuarias residen en los cambios de uso del suelo que han favorecido la irrigación de tierras

²¹ Los habitantes presentaron una queja ante Conagua y se cerraron los pozos destinados al uso agrícola por vender agua al sector industrial.



agrícolas de temporal –con la consecuente perforación de pozos regulares e irregulares sobreexplotados– y la instalación de varias plantas industriales. El desarrollo de la agroindustria y del sector automotriz han llevado muchos campesinos de la cuenca baja a vender sus tierras de cultivo. Sus hijos son ahora jornaleros agrícolas u obreros que ocupan empleos subalternos y mal pagados. Si bien valoran percibir un salario semanal fijo y pueden ahora acceder al crédito bancario, sus padres expropiados viven con dificultad la pérdida de identidad laboral y la desilusión de haberlo perdido todo (tierras, dinero de la expropiación y orgullo) además de no ver concretizadas las promesas de educación y empleo para sus hijos.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El trabajo interpretativo realizado a partir de los testimonios permite observar que los habitantes de la cuenca, si bien en algunos casos son sólo los testigos del saqueo de sus recursos naturales comunes, son también en ocasiones los actores directos del mismo debido a la necesidad económica que les apremia. Como lo señala Hogan (2002) al respecto, la pobreza lleva a menudo las personas, ante la falta de opciones de sustento, a tolerar la explotación desmedida y no sustentable de sus recursos naturales por personas ajenas a su territorio, o a participar directamente en ella. Pero en consecuencia, un entorno saqueado y alterado facilita la instalación del círculo vicioso del empobrecimiento de las familias en medio de un contexto natural que ya no proporciona lo necesario al sustento de los hogares.

Otra observación realizada a partir de las entrevistas reside en que los habitantes expresan estar conscientes de los efectos de sus acciones dentro de la cuenca donde viven: sus testimonios reflejan un total entendimiento de la interconexión existente entre las actividades humanas llevadas a cabo dentro de la cuenca y las respuestas del medio natural, es decir entre los procesos antrópicos y los procesos naturales. El discurso de los entrevistados revela una conciencia de cuenca que relaciona en lo hidrológico y en lo social cada uno de los tramos de la cuenca.

Se entiende que estas extracciones responden a la necesidad de diversificar las fuentes de sustento del hogar y de compensar el bajo rendimiento de las cosechas en años de insuficiente pluviosidad. Pero, a la larga, ellos son también los primeros en padecer los procesos de degradación ecosistémica que se traducen en la pérdida de su calidad de vida ambiental y en unas reducidas posibilidades de autonomía alimentaria.

En un contexto de indigencia hídrica, resulta inevitable pensar que los efectos de estas extracciones no hacen más que agravar y aumentar los impactos de la sequía meteorológica. Por lo observado en esta cuenca, la sequía hidrológica²² que afecta los rendimientos agropecuarios de los campesinos no es solamente el producto de la baja pluviosidad (causa natural) sino que también resulta de acciones antrópicas que refuerzan los efectos de la indigencia pluvial. Es decir que la escasa pluviosidad no explica por sí sola la falta de humedad del suelo: el actuar humano también tiene su parte de

²² Hernández (2007) define a la sequía hidrológica como una reducción de los niveles de agua superficial y subterránea que sucede después de una reducción de la precipitación durante un tiempo amplio.



responsabilidad en una situación que los habitantes deploran pero que también justifican a partir de las necesidades económicas inmediatas de sus familias.

Se deplora en consecuencia la falta de rigor de las instituciones en regular las extracciones desmedidas y su falta de visión de largo plazo. Los habitantes por su parte justifican su actuar cortoplacista ante la exigencia de cubrir sus apremiantes necesidades económicas; recurren a fuentes de sustento independientes del clima y de su variabilidad, y obtienen de la extracción de recursos naturales un ingreso seguro aunque limitado en el tiempo. Pero sin duda son, a la larga, los primeros perdedores de un entorno alterado mientras la tolerancia de las autoridades –quienes tampoco integran una visión de largo plazo– transita por esquemas de tolerancia y de corrupción.

Además de integrar una visión de largo plazo, se requiere también incorporar una nueva actitud de respecto al manejo de los recursos naturales del área por parte de todos los actores. La adopción de una perspectiva o de una lógica de cuenca permitiría interrelacionar a cada una de las comunidades de la cuenca para que los actores trabajen en conjunto en su conservación y en la reconstrucción de su salud hídrica. La conciencia de cuenca ya observada entre ciertos habitantes debería apoyar este enfoque de trabajo colectivo y para el bien común de toda la cuenca. Se debe iniciar con acciones para la conservación de los terrenos forestales en la cabecera de la cuenca por ser una zona de producción de agua y seguir con medidas que permitan la rehabilitación de los procesos de infiltración y de recarga de los acuíferos de la parte media y baja de la cuenca, regulando, entre otras explotaciones, la de la arena.

En cuanto al lugar ocupado por la baja pluviosidad de los últimos años en el deterioro de la cuenca, se considera que los factores que favorecieron la pérdida de rendimiento agropecuario son tanto antrópicos como climáticos. Se puede formular la idea según la cual los diferentes procesos extractivos a lo largo de la cuenca exacerbaron los efectos de por sí negativos de la baja pluviosidad de los últimos años. Pero ahí donde las autoridades como la Segob decretan que la sequía representa un desastre, también deberían estar preocupadas y ocupadas ante el desastre que produce la sobreexplotación tolerada de los recursos naturales.

5. LITERATURA CITADA

- Florescano, E. (2000). *Breve historia de la sequía en México*. México: Conaculta.
- Hernández Cerda, M.E., Carrasco Anaya, G. y Alfaro Sánchez, G. (2007). *Mitos y realidades de la sequía en México*. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.
- Hogan, D.J. (2002). Movilidad poblacional, sustentabilidad ambiental y vulnerabilidad social: una perspectiva latinoamericana. En Leff, E., Ezcurra, E., Pisanti, I., Romero, P. *La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe*. INE-SEMARNAT, PNUD, México.
- Pita López, M.F. (1989). La sequía como desastre natural. Su incidencia en el ámbito español. *Norba, Revista de Geografía*, (6-7), pp. 31-62.
- Ponce, Víctor Miguel (s.f.). Extracción de arenas [en línea]. Grupo de investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California y de San Diego State University. En: http://ponce.sdsu.edu/tres_problemas_arenas01.html. Fecha de consulta: 18 de agosto de 2015.



- Ramos Arroyo, Y.R., Ortega Chávez, V.M., Martínez Arredondo, J.C. y Ramírez Aguayo, V.H. (2016). État de l'art sur l'eau dans la zone métropolitaine de León. Cahiers CEMCA. Série Bordeaux-León, núm. 1.
- Ruiz *et al.*, (1999). *Requerimientos agroecológicos de cultivos* [en línea]. En: <http://www.inifapcirpac.gob.mx/PotencialProductivo/Jalisco/Norte/RegionNorteReqAgroecologicos.pdf>. Fecha de consulta: 18 de agosto de 2015.
- Valles, M.S. (2007). *Entrevistas cualitativas*. Madrid. Colección "Cuadernos Metodológicos" (32).
- Vázquez González, R. (s.f.). Extracción de arena en los cauces de arroyos. Ensenada: Gaceta Cicese.



Extenso ID: 217. Carlos Alberto Velázquez Sanabria^a, Alonso López Cruz^b, Pedro Martínez Muñoz^c, Miguel Sánchez Gómez^d. IMPACTO DE ACTIVIDADES HUMANAS EN DOS CUENCAS DEL MUNICIPIO DE VILLAFLORES, CHIAPAS

[Regresar al índice](#)

^a Representante de BIOMASA, AC; Villaflores, Chiapas, México; biomasa_ac@hotmail.com

^b Equipo técnico BIOMASA, AC; Villaflores, Chiapas, México; alonsoloc@hotmail.com

^c Equipo técnico BIOMASA, AC; Villaflores, Chiapas, México; pmtz29@hotmail.com

^d Equipo técnico BIOMASA, AC; Villaflores, Chiapas, México; migbaatz@yahoo.com.mx

RESUMEN

Partiendo que el desarrollo rural no ha sido acorde con el medio ambiente, además de la falta de opciones viables para que las comunidades rurales puedan obtener beneficios tangibles. En el municipio de Villaflores, Chiapas, al sureste de México, en la última década, se incrementaron las actividades humanas en las 90,000 ha con diferente vegetación, ubicadas en áreas estratégicas como la REBISE²³ y el APRN²⁴ “La Frailescana”, perturbando los procesos de los ecosistemas y, causando la degradación y deforestación de la vegetación, lo cual derivó en alteraciones del nivel y frecuencia del fuego en terrenos agropecuarios, incendios forestales recurrentes, baja producción por monocultivos y uso indiscriminado de agroquímicos, erosión, acumulación de combustibles forestales y un proceso de comercialización deficiente, entre otros. A partir de lo anterior, y con metodologías participativas como observación participante, talleres participativos y la investigación acción, se desarrollan acciones de manejo sustentable de los recursos en dos microcuencas, integradas por tres comunidades cada una, con base en principios de REDD+²⁵ y los tres componentes del MIF²⁶: a) manejo del fuego: protección, conservación y restauración de la vegetación y del suelo; b) cultura del fuego: ordenamiento territorial, planeación y organización comunitaria, ecotécnicas y seguridad alimentaria; y, c) ecología del fuego: cargas de combustibles forestales y almacenamiento de carbono, e identificación de perturbaciones. Una acción transversal es el fortalecimiento de capacidades en temas ambientales, seguridad alimentaria y, organización y planificación comunitaria. Hasta el momento, se desarrollan acciones organizadas y planificadas para la atención a dos microcuencas, con visión de desarrollo rural sustentable, a partir de temas de REDD+ y MIF, que llevan a un mejor manejo y aprovechamiento de los recursos de las microcuencas, se fortalecen las capacidades de 73 hombres y 180 mujeres, y se aumenta la seguridad alimentaria y protección de los recursos con las prácticas impulsadas.

²³ Reserva de la Biósfera “La Sepultura”

²⁴ Área de Protección de Recursos Naturales.

²⁵ Reducción de Emisiones por Degradación y Deforestación

²⁶ Manejo Integral del Fuego.



Palabras clave: Manejo Forestal, Desarrollo rural, Organización, planificación comunitaria.

1 INTRODUCCIÓN

Dentro del fenómeno del Cambio se considera que los gases de efecto invernadero (GEI) son los responsables en gran parte de dicho fenómeno, en donde el dióxido de carbono (CO₂) es el GEI prevaleciente en la atmosfera (CONAFOR²⁷, 2010).

Las perturbaciones ambientales son, de acuerdo a Pickett y White (1985), “eventos que ocurren de manera relativamente discreta en el tiempo y modifican el estado, el ambiente físico o la estructura de un ecosistema, comunidad o población, reiniciando procesos de regeneración y sucesión”. La comprensión de la importancia ecológica de las perturbaciones en ecosistemas particulares, sobre todo en respuesta a la perturbación humana, requiere estudios integrativos realizados a través de los programas de investigación a largo plazo (Foster *et al.*, 1998). Actualmente, las personas en las comunidades rurales de las microcuencas Villahermosa y Nueva Palestina, en Villaflores, Chiapas, realizan sus actividades productivas respondiendo a las necesidades de alimentos, principalmente, dejando a un lado las cuestiones sociales y ambientales, esto no quiere decir que no les resulten importantes pero los recursos económicos son insuficientes.

Con base a lo anterior, surge el interés de fomentar un proceso en donde se genere el desarrollo rural, desde la visión de los conceptos de REDD+ y del MIF, en donde, con información sobre el uso del suelo, los ecosistemas y los efectos que tienen sobre ellos las perturbaciones humanas, se puedan promover acciones de restauración, protección y/o conservación de los recursos en dos microcuencas del municipio de Villaflores, Chiapas, México.

En este contexto, se plantearon los objetivos siguientes:

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Implementar acciones de conservación, restauración y/o protección de los recursos naturales en dos microcuencas, integradas por seis comunidades, que promuevan el desarrollo rural bajo la visión de REDD y de los principios del MIF.

1.1.2 Objetivos específicos

²⁷ Comisión Nacional Forestal



- a) Identificar y determinar la superficie perturbada por las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, en las microcuencas en estudio.
- b) Desarrollar acciones de campo que coadyuven en la restauración, conservación y protección de los ecosistemas, además de generar empleos e ingresos económicos, en el corto plazo, y detonen procesos productivos, a mediano y largo plazo, en las dos microcuencas beneficiadas.

1.2 Hipótesis

El desarrollo de estrategias productivas, ambientales y sociales, de manera participativa e integral, permitirán impulsar un proceso de desarrollo rural en dos microcuencas de Villaflores, Chiapas.

2 Materiales y métodos

2.1 Localización del sitio de estudio

El presente trabajo se realizó en seis comunidades de dos microcuencas del municipio de Villaflores, Chiapas, el cual se encuentra ubicado entre la Depresión Central y la Sierra Madre, entre las coordenadas 93° 03' 31.49'' y 93° 46' 22.71'' al Oeste y 16° 10' 00.28'' y 16° 35' 05.57'' al Norte (Figura 1). Cuenta con una extensión territorial de 1, 232.10 km², de los cuales más de 90, 000 ha son de uso forestal, esto es, bosques, selvas y vegetación secundaria. Su punto más alto se encuentra sobre el Cerro Tres Picos a 1823 msnm. El clima cálido-subhúmedo con abundantes lluvias en verano y un periodo de sequía intraestival (canícula) entre los meses de julio y agosto; la temperatura oscila entre los 14°C en los meses de diciembre y enero, y 38°C, o más, en los meses de abril y mayo. Los meses de lluvia van de mayo a octubre, de noviembre a enero son meses con humedad residual y el resto son meses de estiaje (CEIEG²⁸, 2012).

²⁸ Centro Estatal de Información, Estadística y Geografía

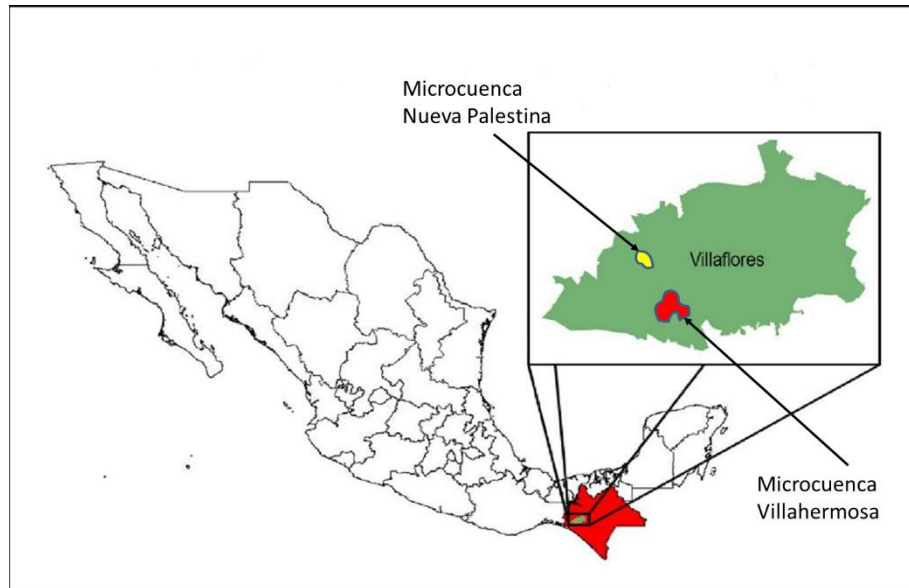


Figura 1.- Ubicación de los sitios de estudio en el municipio de Villaflores, Chiapas.

Cada microcuenca presenta problemáticas acordes a sus sistemas de producción, mientras que en la microcuenca Villahermosa existen problemas con la roya del café, comercialización del café y la palma camedor, así como alto riesgo de afectaciones por incendios forestales; en la microcuenca de Nueva Palestina, la problemática está enfocada hacia la erosión del suelo, uso de agroquímicos, altos consumos de leña (Velázquez, 2015; López, 2016), alto riesgo a incendios forestales y la falta de alternativas productivas.

2.2 Diseño de la investigación y enfoque metodológico

Ante tal situación, se desarrolló un enfoque mixto de investigación para el trabajo de campo, el cual consistió en dos fases; en la primera fase se realizó un diagnóstico social, económico y ambiental, con la ayuda de metodologías como la observación participante y los talleres participativos, para decidir y priorizar las acciones a implementar; en la segunda fase, se implementan las acciones de campo, bajo la metodología de la investigación acción, en donde se desarrollan acciones de manejo sustentable de los recursos en las dos microcuencas, con base en principios de REDD+ y los tres componentes del MIF.

2.3 Metodología

En la primera fase, los talleres participativos se realizaron en cada comunidad, en donde se obtuvo información histórica de las comunidades, su población y sus ecosistemas; las actividades productivas y sus superficies; y sus principales amenazas y sus posibles soluciones. Dicha información fue corroborándose con la observación directa en los recorridos de campo y de la población, así como entrevistas informales a algunos actores clave, como las autoridades ejidales y personas de mayor edad (fundadores).



En la segunda fase, de la implementación de las actividades en campo, se fueron experimentando con alternativas productivas que se ajustaran a los principios de REDD+ y a los tres componentes del MIF. Los principios de REDD+ son:

- a) Adicionalidad.
- b) Permanencia,
- c) Sin fugas,
- d) Medible,
- e) Sostenible.

Mientras que los componentes del MIF son:

- a) manejo del fuego: protección, conservación y restauración de la vegetación y del suelo;
- b) cultura del fuego: ordenamiento territorial, planeación y organización comunitaria, ecotécnicas y seguridad alimentaria; y,
- c) ecología del fuego: cargas de combustibles forestales y almacenamiento de carbono, e identificación de perturbaciones.

2.4 Variables medidas

- a) Superficie impactada

Se determinó el porcentaje de la superficie impactada por cada comunidad, con base a la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de superficie impactada} = (\text{Superficie impactada} \times 100) / \text{superficie total}$$

- b) Modelos productivos impulsados

Consistió en determinar las actividades que mejores resultados proporcionan y agruparlos de acuerdo al sector productivo que impactan. Para efectos de una mejor precisión, se revisó información bibliográfica (reportes técnicos y tesis).

- c) Población beneficiada

Se determinó el porcentaje de población beneficiada directamente con las actividades impulsadas, para calcular dicho porcentaje se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de población beneficiada} = (\text{población beneficiada} \times 100) / \text{población total}$$

3 RESULTADOS

3.1 Comunidades, población y ecosistemas

El trabajo se realiza en dos microcuencas del municipio de Villaflores, Chiapas, cada una de ellas está integrada por tres comunidades (Cuadro 1). En la microcuenca Nueva Palestina, ubicada en la parte baja del municipio, está integrada por las comunidades de Belén, Jerusalén y Nueva Palestina, sus habitantes son descendientes de las etnias Tzotziles y Tzeltales, desplazados de la zona Altos del estado de Chiapas entre los años 1994- 1996. Son comunidades pequeñas con índices de



IV CONGRESO
NACIONAL

MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS

MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016

XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

marginación muy altos y un bajo nivel escolar. Los ecosistemas encontrados van desde los pastizales, acahuales y la selva baja hasta el bosque de pino y de encino (BIOMASA, 2015).

En la parte alta o sierra del municipio está la microcuenca Villahermosa, en donde se ubican las comunidades de Galeana, Niquidámbar y Villahermosa, en éstas comunidades se tiene una mayor cantidad poblacional (772), así mismo se tiene, en promedio, que el 60% de su población descende de las etnias Tzotziles, Choles y Zoques. Son comunidades con mayor tiempo de fundación (entre los años 70 y 80), cuyos habitantes son reubicados posterior a la explosión del volcán Chichonal (1982) o provienen de las zonas Altos o Soconusco del estado (FIRCO, 2007).



Cuadro 2.- Comunidades por microcuenca, sus características y ecosistemas encontrados.

Microcuenca	Comunidad	Población total*	Características poblacionales	Ecosistemas**
Nueva Palestina	Belén	85	Menor a 100 habitantes Grado de marginación muy alto Promedio de 100% hablantes de lengua indígena Escolaridad promedio 2° año de primaria	Selva baja y acahuals
	Jerusalén	54	Menor a 100 habitantes Grado de marginación: muy alto Promedio de 100% hablantes de lengua indígena Escolaridad promedio 2° año de primaria	Selva baja y bosque de pino y encino
	Nueva Palestina	169	Menor a 200 habitantes. Grado de marginación: muy alto. Promedio de 100% hablantes de lengua indígena. Escolaridad promedio 2° año de primaria.	Selva baja, acahuals y pastizales
	Galeana	62	Menor a 100 habitantes. Grado de marginación: alto. Promedio de 20% hablantes de lengua indígena. Escolaridad promedio 3° año de primaria	Bosques de pino y de encino, selva baja
	Niquidámbar	241	Menor a 500 habitantes. Grado de marginación: muy alto. Promedio de 70% hablantes de lengua indígena. Escolaridad promedio 3° año de primaria.	Bosques de pino, de encino y mesófilo



Villahermosa	469	Menor a 500 habitantes. Grado de marginación: muy alto. Promedio de 60% hablantes de lengua indígena. Escolaridad promedio 4° año de primaria.	Boques mesófilo, de pino y de encino
--------------	-----	---	--------------------------------------

* Fuente: INEGI, 2010.

** Fuente: Serie V, de INEGI, 2014 y observación directa.

3.2 Actividades productivas y superficies

Dentro de las actividades productivas manifestadas por los habitantes de las comunidades en cada microcuenca se observa que los cultivos básicos predominan (maíz y frijol), mientras que se han detonado algunas otras actividades productivas alternas como el café, palma camedor, extracción de resina de pino y hortalizas, así como la ganadería y la producción de miel. En la microcuenca Nueva Palestina casi un 65% de su superficie es dedicada a la producción, mientras que en la microcuenca Villahermosa se tienen que, aproximadamente, un 31% de su superficie es activamente productiva (Cuadro 2).

Cuadro 3.- Actividades productivas y superficie por comunidad en las microcuencas atendidas.

Microcuenca	Comunidad	Superficie total (ha)*	Superficie productiva (ha)	Actividades productivas
	Belén	188.40	108	Maíz y frijol
Nueva Palestina	Jerusalén	121.03	48	Maíz, frijol, miel, bordados y café
	Nueva Palestina	206.43	180	Maíz, frijol y hortalizas
	Galeana	1119.45	380	Maíz, frijol, ganadería y resina
Villahermosa	Niquidámbur	2148.14	970	Maíz, frijol y café
	Villahermosa	2494.79	450	Maíz, frijol, ganadería, café y palma camedor

* Fuente: RAN, 2014

3.3 Amenazas detectada y priorización de atención

De acuerdo a los resultados de los talleres participativos, recorridos de campo y entrevistas, se identificaron las amenazas, así como la priorización para la atención en cada microcuenca (Cuadro 3).

Cuadro 4.- Amenazas detectadas y priorización de atención por microcuenca atendida.

Microcuenca	Amenazada detectada	Priorización de atención
-------------	---------------------	--------------------------



Nueva Palestina	Incendios forestales	1
	Consumo de leña	2
	Erosión	3
	Seguridad alimentaria	4
	Utilización de monocultivos	5
Villahermosa	Acumulación de combustibles forestales	1
	Coyotaje en venta de productos (café)	2
	Incendios forestales	3
	Seguridad alimentaria	4
	Alimentación del ganado	5

3.4 Alternativas impulsadas

Así mismo, se identificaron algunas alternativas para atender la problemática detectada (Cuadro 4), algunas de ellas correspondieron a procesos internos de organización (brigadas comunitarias), protección y restauración de los recursos (brechas cortafuego, quemas prescritas, obras de conservación de suelos, fogones ecológicos y bancos dendroenergéticos), a actividades productivas (sistema MIAF²⁹ y maquinaria para la transformación del café) y a alternativas de alimentación familiar (producción de hortalizas y hongos seta) o del ganado (Bloques multinutricionales, micro silos y SSP³⁰). Una acción transversal es el fortalecimiento de las capacidades locales en temas ambientales, seguridad alimentaria y, organización y planificación comunitaria el cual ha sido desarrollado en las dos microcuencas.

Cuadro 5.- Alternativas productivas impulsadas de acuerdo a las amenazas detectadas por microcuenca.

Microcuenca	Amenazada detectada	Alternativas
Nueva Palestina	Incendios forestales	Brigadas comunitarias y brecha cortafuego
	Consumo de leña	Fogones ecológicos y bancos dendroenergéticos
	Erosión	Obras de conservación de suelo y sistema MIAF
	Seguridad alimentaria	Producción de hortalizas y hongos seta
	Utilización de monocultivos	Sistema MIAF
Villahermosa	Acumulación de combustibles forestales	Quemas prescritas
	Coyotaje en venta de productos (café)	Maquinaria para transformación del café
	Incendios forestales	Brigadas comunitarias
	Seguridad alimentaria	Producción de hortalizas y hongos setas
	Alimentación del ganado	Bloques multinutricionales, micro silos y SSP

²⁹ Maíz intercalado con árboles frutales.

³⁰ Sistemas silvopastoriles.



3.5 Impactos

Si bien es cierto que han sido solamente 3 años de trabajos en éstas microcuencas, los impactos que se tienen son visibles, ya que se ha apoyado a que las personas de las comunidades (hombres y mujeres) puedan aspirar a una mejor calidad de vida y a mayores alternativas de empleo, desde la producción de hongos seta para diversificar la alimentación hasta las obras de conservación de suelo y agua para reducir la erosión y aumentar la infiltración del agua. En el Cuadro 5 y 6 se hace un recuento de los resultados obtenidos por microcuenca hasta el momento.

Cuadro 6.- Impactos por alternativas desarrolladas en la microcuenca Nueva Palestina.

Microcuenca	Alternativa empleada	Impacto	Observaciones
Nueva Palestina	Brigada comunitaria	3 brigadas integradas	Las brigadas están equipadas y capacitadas en temas básicos de organización y combate de incendios forestales.
	Brecha cortafuego	18 km	Se cuenta con una brecha perimetral en toda la microcuenca que se mantiene en óptimas condiciones.
	Fogones ecológicos	125 fogones	Se tiene una cobertura cercana al 90% de las familias, se ha reducido el consumo de leña en un 50%.
	Bancos dendroenergéticos	35 bancos establecidos	Son parcelas de 20x20 m, con una densidad de 400 plantas, están crecimiento, se espera una producción de 15 kg/corte.
	Obras de conservación de suelo	75 ha	Se han establecido presas filtrantes de piedra, morillos y ramas, además de zanjas trincheras.
	Sistema MIAF	60 ha	Se diversifica la producción con árboles frutales de mamey, naranja, limón y guanábana.
	Producción de hortalizas	10 módulos	Se establecen cultivos de nabo, acelga, cebolla, calabaza, rábano y cilantro en espacios de 1.5x 10 m.
	Producción de hongos seta	6 módulos establecidos	Se produce hongos seta de manera regular en espacios de 3x3 m. La producción es empleada para el autoconsumo y, una pequeña parte, para la venta a nivel local.

Cuadro 7.- Resultados obtenidos por alternativa empleada en la microcuenca Villahermosa.

Microcuenca	Alternativa	Impacto	Observaciones
-------------	-------------	---------	---------------



empleada			
Villahermosa	Quemas prescritas	110 ha quemadas	Se lleva un proceso gradual de capacitación y entrenamiento con 50 productores y 15 técnicos de dependencias y ONG.
	Maquinaria para transformación	1 lote instalado	Se cuenta con mortero, tostador, molino, báscula y selladora para procesar el café local, las ventas han sido a nivel local, hasta el momento.
	Brigada comunitaria	3 brigadas integradas	Las brigadas están equipadas y capacitadas en temas básicos de organización y combate de incendios forestales.
	Producción de hortalizas	8 módulos	Se establecen cultivos de nabo, acelga, cebolla, calabaza, rábano y cilantro en espacios de 1.5x 10 m.
	Producción de hongos seta	5 módulos	Se produce hongos seta de manera regular en espacios de 3x3 m. La producción es empleada para el autoconsumo y, una pequeña parte, para la venta a nivel local.
	Bloques nutricionales, micro silos y sistemas silvopastoriles	5 productores	Se ha brindado la capacitación y asistencia técnica para que los productores tengan opciones de alimentación, sobre todo, en la época de estiaje.

El fortalecimiento de las capacidades locales es, sin duda, la mejor estrategia para lograr los resultados que se planteen y, sobre todo, que los hombres y mujeres de las comunidades adopten y adapten las alternativas impulsadas, en este tenor, se tiene que 73 hombres y 180 mujeres se han capacitado en diversos temas relacionados con la protección y restauración del medio ambiente y la seguridad alimentaria (Cuadro 7).

Cuadro 8.- Relación de capacitaciones y participantes en el proceso de formación de capacidades locales.

Tema	Participantes	Observaciones
Curso básico de combate de incendios forestales	38 participantes de 5 comunidades	Avalado por la CONAFOR, consta de 26 horas.
Curso básico del Sistema de Manejo de Incidentes	42 participantes de 6 comunidades	Avalado por la CONAFOR, consta de 24 horas.
Taller de energías sustentables	25 participantes de 3 comunidades	Participan hombres y mujeres
Taller Sistema MIAF	23 participantes de 3 comunidades	Participan hombres en su mayoría
Taller de producción de hongos seta	54 participantes de 6 comunidades	Participan mujeres en su mayoría
Taller de conservación de alimentos	83 participantes de 6 comunidades	Participan mujeres en su mayoría, proceso de 10



Taller de preparación de alimentos con hongos seta	95 participantes de 6 comunidades	sesiones que se replica en las comunidades. Participan mujeres en su mayoría, proceso de 10 sesiones que se replica en las comunidades.
--	-----------------------------------	--

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, hasta el momento, se ha logrado impactar directamente en 9.83% de la superficie total de ambas microcuencas, aunque de manera indirecta, con las actividades de brechas cortafuego y brigadas comunitarias se impacta en la totalidad de la superficie de las microcuencas (6278.24 ha).

Por otro lado, todas las alternativas impulsadas (excepto las de alimentación del ganado) se pueden agrupar en dos modelos pilotos de atención: el agrícola y el agroforestal. Dichos modelos pilotos están siendo sistematizados (por parte de la Alianza MREDD+) para presentarse de una forma más concreta a posibles financiadores.

Así mismo, se ha logrado trabajar con el 23.5% de la población total de ambas microcuencas, desde el fortalecimiento de las capacidades hasta las acciones en campo, lo que repercutido en la seguridad alimentaria y protección de los recursos con las prácticas impulsadas.

Se considera que se tiene un proceso en donde se desarrollan acciones de forma organizada y planificada para la atención a dos microcuencas, con visión de desarrollo rural sustentable, a partir de temas de REDD+ y de los principios del MIF, que llevan a un mejor manejo y aprovechamiento de los recursos de las microcuencas.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido desarrollado gracias a los apoyos financieros de la Alianza México REDD+, a través del proyecto “Implementación de estrategias y actividades de manejo de los recursos naturales del municipio de Villaflores, Chiapas, para la adaptación y mitigación al Cambio Climático” y del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, AC, a través del proyecto “Formulación del Programa Municipal de Manejo del Fuego de Villaflores, Chiapas” (Contrato No. B1402003), ambos proyectos ejecutados por Biodiversidad, Medio Ambiente, Suelo y Agua, AC. Así como al Instituto Nacional para el Desarrollo de las Capacidades del Sector Rural, AC (Inca Rural) a través del “Modelo de Extensión en Desarrollo Comunitario Holístico, una propuesta para Chiapas”.

Además de la orientación técnica recibida por el Cuerpo Académico en Consolidación Agroforestería Pecuaria, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas.



6. LITERATURA CITADA

- BIOMASA. 2015. Ordenamiento Territorial Comunitario de la microcuenca Nueva Palestina. Dentro del Proyecto “Implementación de estrategias y actividades de manejo de recursos naturales en el municipio de Villaflores, Chiapas”. Documento interno.
- CEIEG (Centro Estatal de Información, Estadística y Geografía). 2012. Información del Municipio de Villaflores. Secretaría de Planeación y Finanzas. Chiapas. México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Cambio Climático y REDD, Análisis sobre su aplicación en el Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales. Guadalajara, Jal.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). 2007. Plan Rector de Producción y Conservación de la microcuenca Villahermosa.
- Foster D.R., D.H. Knight y J.F. Franklin. 1998. Landscape patterns and legacies resulting from large, infrequent forest disturbances. *Ecosyst* 1(6):497–510
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Información Municipal de Villaflores, Chiapas. México, D.F.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. Conjunto Nacional de Uso de Suelo y Vegetación a escala 1: 250,000, Serie V, DGG-INEGI, México.
- López Cruz, Alonso. 2016. Alternativas tecnológicas para la mitigación de emisión de CO₂ por el uso de leña en dos comunidades del municipio de Villaflores, Chiapas. Tesis de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical. Universidad Autónoma de Chiapas. En imprenta.
- Pickett, S.T.A., y P.S. White (ed.). 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, Orlando.
- Registro Agrario Nacional. 2014. Carpetas básicas de los ejidos de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Consulta interna.
- Velázquez Sanabria, Carlos Alberto. 2015. Efecto de las actividades agropecuarias y forestales en el almacenamiento de carbono en ecosistemas de Villaflores, Chiapas. Tesis de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical. Universidad Autónoma de Chiapas. 88 Pg.



Extenso ID: 71. Helena Cotler^a, Carlos Arroyo ^c, Fabiola A. González ^e, Jorge Larson ^b, Javier Rodríguez ^d. EFECTOS DE LA INTENSIDAD DEL USO DEL SUELO SOBRE LAS FUNCIONES ECOLÓGICAS DEL SUELO Y LA INTEGRIDAD DE LAS CUENCAS

[Regresar al índice](#)

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

^ahcotler@conabio.gob.mx; ^bjorge.larson@conabio.gob.mx; ^ccarroyo@conabio.gob.mx;
^djrodriguezr@conabio.gob.mx; ^efgonzalez@conabio.gob.mx

RESUMEN

Los suelos proveen funciones vitales para la sociedad. Particularmente en el funcionamiento de las cuencas, la regulación hidrológica depende de la conservación de las propiedades de los suelos. México tiene una gran diversidad de suelos donde cada uno de ellos cumple con funciones específicas, por ello para el mantenimiento de la integridad de las cuencas se requiere proteger la mayor diversidad de suelos y con ello, su multifuncionalidad.

Los suelos son afectados en distintos grados por las actividades humanas. Algunas actividades destruyen y sellan por completo el cuerpo natural (minería, ciudades, presas). Otras actividades modifican sus propiedades originales (agricultura, ganadería). Mientras que en áreas con vegetación natural (primaria y secundaria), los suelos siguen su desarrollo en función de los factores formadores cambiantes. Las pérdidas y modificaciones de los suelos repercuten en la calidad de los mismos y en su capacidad de proporcionar servicios ambientales.

En el presente estudio se realizó un análisis de la distribución y del uso que se da a los suelos de cinco cuencas importantes por su intensidad de uso: Cuenca de México, Lerma-Chapala, Nazas, Balsas y Papaloapan por zona funcional.

Los resultados muestran que en las cuencas de México, Lerma-Chapala y Papaloapan se han modificado o sellado entre el 53 y hasta un 70% de sus suelos debido al crecimiento de la zona urbana. Este fenómeno ha comprometido a suelos desarrollados y con propiedades aptas para la regulación ecohidrológica, como son los Luvisoles, Andosoles, Pheozem, Cambisoles y Vertisoles. En las cuencas del Balsas y del Nazas si bien el sellamiento y modificación es menor, éste está ocurriendo principalmente en las partes altas de las cuencas, alterando la capacidad de infiltración y formación de arroyos. Por otro lado, la agricultura modifica las propiedades de los suelos en las partes altas de todas las cuencas, pudiendo además promover procesos de erosión. La pérdida de las funciones de los suelos o de todo el suelo altera la integridad de estas cuencas.

Palabras claves: diversidad de suelos; impactos antrópicos; integridad de cuencas; sellamiento



1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la calidad y la cantidad de servicios ecosistémicos generados por las cuencas están disminuyendo debido a los cambios acelerados de uso del suelo, el intenso consumo del agua y el cambio climático (Farber *et al.* 2002). Esta situación también se refleja en las cuencas de México donde el 66% de ellas presentan un grado de deterioro alto a extremo en su funcionamiento (Cotler *et al.* 2010) impactando la integridad de las cuencas, entendida ésta como su capacidad para sostener y mantener un amplio rango de procesos y funciones ecológicas esenciales para la sustentabilidad de la biodiversidad y de los servicios que provee a la sociedad (Flotermersch *et al.* 2015).

La capacidad de las cuencas de mantener su integridad depende del funcionamiento de cada uno de sus componentes y de sus interacciones (Bunch *et al.* 2011). Uno de los componentes fundamentales es el suelo que provee funciones vitales como la regulación hidrológica, en términos de infiltración, escurrimiento, evapotranspiración y la regulación de la erosión, donde ambas funciones dependen de la conservación de las características de los suelos, como su estructura, la densidad aparente, la porosidad, el contenido de materia orgánica y su profundidad (Brady y Weil, 1999). Sin embargo, estas relaciones aún son poco visibles (Dominati *et al.* 2010; Bouma 2014), muchas veces por la ausencia de la incorporación del conocimiento de suelos en estudios interdisciplinarios (Bouma, 2014) que genera que las decisiones que se toman en el territorio no consideren sus funciones. México tiene una gran diversidad de suelos (Krasilnikov *et al.* 2013) donde cada uno de ellos cumple con funciones específicas, por ello para el mantenimiento de la integridad de las cuencas se requiere proteger los suelos y su diversidad y con ello, su multifuncionalidad.

Los suelos en las cuencas tienen la capacidad de atenuar la energía proveniente de la precipitación. Sin embargo, el uso de suelo provoca alteraciones en sus propiedades. Algunas actividades destruyen por completo el cuerpo natural, al extraerlo (minas), sellarlo (ciudades, infraestructura) o inundarlos (presas), los cuales pueden agruparse como *suelos sellados* (Amundson *et al.* 2003). El incremento en el sellamiento de la superficie disminuye drásticamente la capacidad de los suelos de infiltrar produciendo incremento en la escorrentía en corto tiempo, aumento de caudales picos y disminución de la recarga de acuíferos (Shuster *et al.* 2005). Otras actividades modifican las propiedades originales de los suelos, como la agricultura, a través de la labranza, la irrigación, la fertilización y la aplicación de pesticidas; la ganadería, a través de la compactación ejercida por el pisoteo; la deforestación, que puede ir acompañada de quema previa. Estas actividades pueden ocasionar cambios en el caudal y en sus picos (De Fries y Eshleman, 2004) así como aumentar el contenido de nutrientes, sedimentos y contaminantes a los flujos de agua. Estos suelos pueden ser considerados como *suelos modificados*. Y finalmente en aquellas áreas donde se mantiene una vegetación natural, los suelos se han ido modificando en función de los factores formadores cambiantes; estos suelos pueden agruparse como *suelos naturales* (Amundson *et al.* 2003). Las pérdidas y modificaciones de las propiedades de los suelos repercuten en la calidad de los mismos que resulta en cambios en la infiltración, percolación, evapotranspiración y recarga de acuíferos.

En México, el 75% de la población se encuentra distribuida en 13 cuencas (Cotler *et al.* 2010), donde sus actividades generan fuertes alteraciones a la dinámica ecohidrológica. Entre ellas, sobresalen las cuencas de México, Lerma-Chapala, Balsas, Nazas y Papaloapan. El impacto del cambio de uso de suelo dependerá de su intensidad, pero también de la ubicación al interior de la



cuenca. Dado que la funcionalidad ecohidrológica de una cuenca varía a lo largo de su territorio, que puede diferenciarse en tres zonas funcionales: área de captación, donde la precipitación es retenida, infiltrada, con posibilidad de recarga o sujeta a escurrimiento; área de almacenamiento, donde los escurrimientos confluyen en un río principal y área de descarga (Garrido *et al.* 2010).

A través del análisis de la modificación o sellamiento de los suelos de las cuencas de México, Balsas, Lerma-Chapala, Nazas y Papaloapan se estimó el grado de alteración de los suelos por zonas funcionales, y con ello su capacidad de proveer funciones de regulación hidrológica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis del uso del suelo en las cuencas de México, Balsas, Lerma-Chapala, Nazas y Papaloapan se empleó el mapa de INEGI-INE-CONAGUA (2007) y el mapa de zonas funcionales (Garrido *et al.* 2010), tomando como referencia el mapa de uso de suelos y vegetación (serie V) de INEGI, así como su mapa edafológico (serie 2), los cuales se encuentran a una escala de 1:250,000.

El análisis geográfico se llevó a cabo con las herramientas de análisis espacial implementadas en ArcGis 10.1. Se realizó la intersección espacial de las tres capas de información vectorial mencionadas, posteriormente, se calculó el área de cada uno de los 4515 polígonos resultantes de la intersección. Es importante acotar que para las zonas urbanas no fue posible determinar el grupo de suelo al que pertenecen debido a que la base de datos edafológicos no lo reporta. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el lenguaje de programación para el cómputo estadístico R (R Core Team, 2016).

3. RESULTADOS

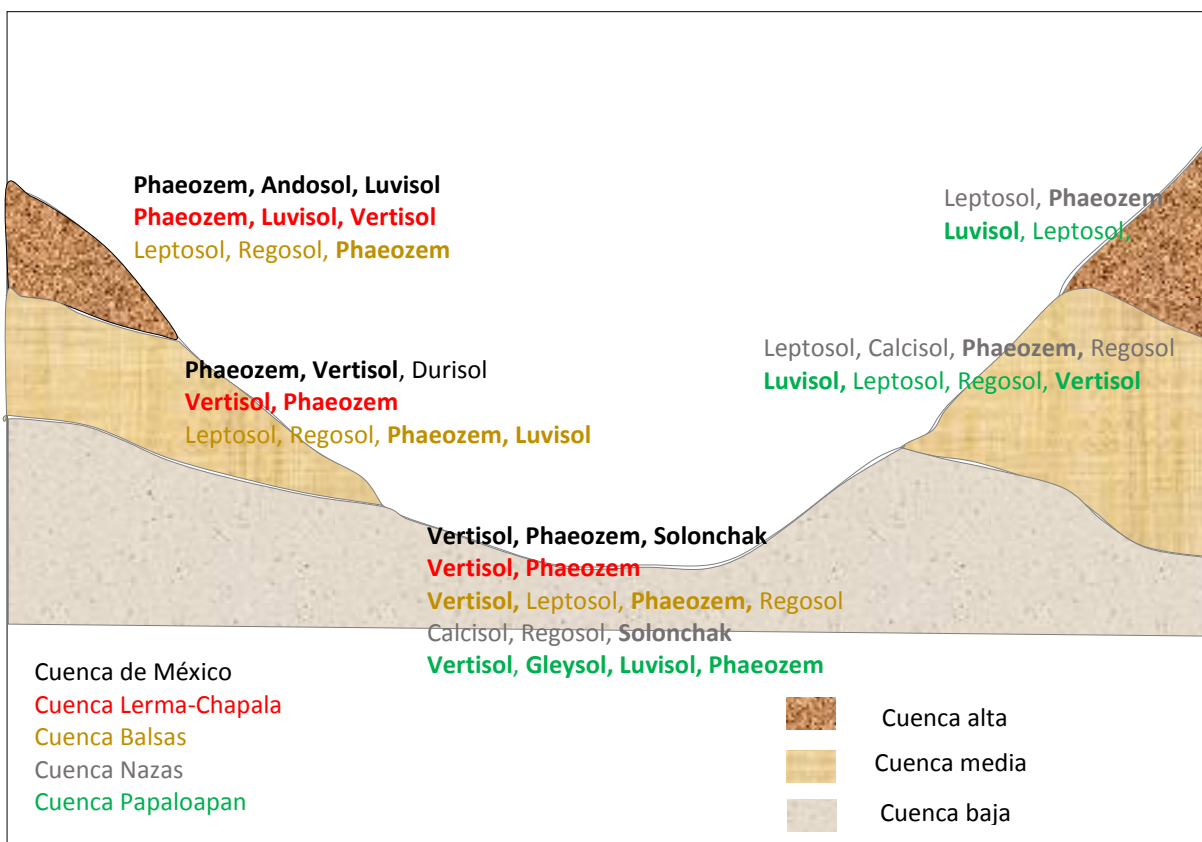


Figura 1. Distribución de principales suelos en las cuencas de estudio por zona funcional (en negritas se marcan los suelos con mayor potencial de regulación hidrológica)

En las zonas altas de las cuencas, la principal función hidrológica consiste en la infiltración, percolación y formación de arroyos que no conlleve erosión de suelos. Para ello, la interacción de los suelos con la vegetación natural posibilita mejorar la regulación hidrológica, a través del incremento del contenido de materia orgánica y de la porosidad de los suelos. En las cuencas estudiadas se pueden observar dos tendencias distintas (Figura 2). Por un lado, las cuencas Nazas y Balsas que presentan mayor vegetación natural en las tres zonas funcionales; en la parte alta de estas cuencas, los suelos naturales cubren de 67 a 81%, cobertura que aumenta en la parte media, donde del 77 al 89% presentan *suelos naturales*. Por otro lado, las cuencas de México, Lerma-Chapala y Papaloapan mantienen en la parte alta de 53 a 67% de *suelos naturales*, cobertura que disminuye drásticamente en la parte media, con mínimos de 19% para la cuenca de México. En todas las cuencas, las partes bajas son las que presentan mayor disturbio. Aquí es importante recalcar el caso de las cuencas de México, Balsas y Papaloapan, donde sólo del 5 al 11% corresponde a *suelos naturales*. El análisis de todo el territorio de la cuenca, desde la perspectiva de los suelos *modificados y sellados*, muestra una tendencia similar, donde las cuencas de México, Lerma-Chapala y Papaloapan presentan los valores más altos de suelos con estos disturbios (70.8,

61.2 y 52.9%, respectivamente); mientras las cuencas del Balsas y del Nazas presentan suelos *modificados y sellados* en 28.1 y 15.9% de su superficie respectivamente.

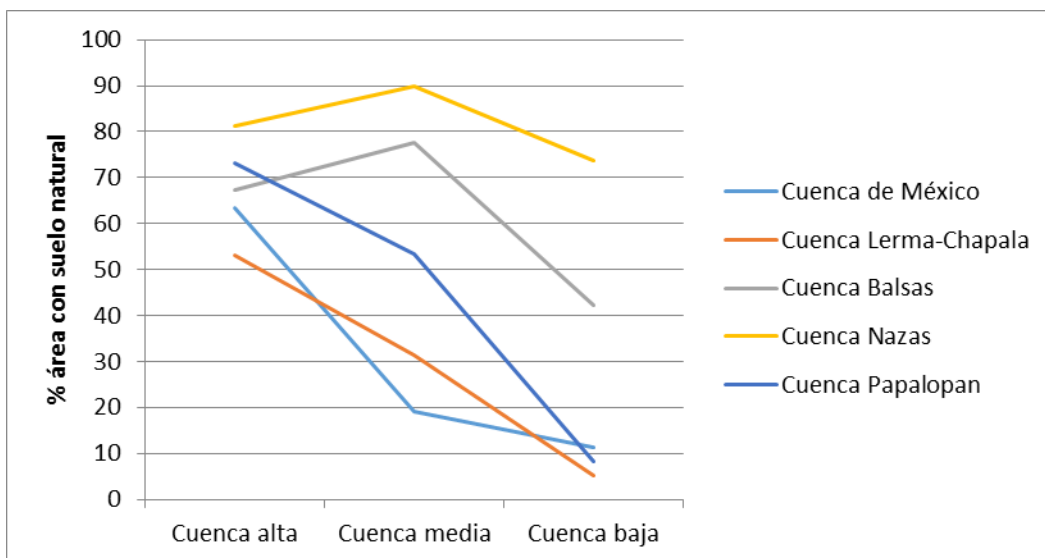


Figura 2. Porcentaje de *suelos naturales* por zonas funcionales en las cuencas estudiadas

El impacto en los suelos provocado por su modificación y el sellamiento varía entre las cuencas de estudio y al interior de éstas (Cuadro 1). En la parte alta de las cuencas de México y del Nazas, las propiedades de los suelos sólo estarían modificadas por actividades de la agricultura de temporal (labranza, disminución de materia orgánica, posiblemente erosión) que han reemplazado a los bosques y al matorral xerófilo primario, respectivamente. Los suelos de las partes medias de las cuencas del Nazas y del Balsas están modificados por agricultura de riego y el sellamiento por asentamientos humanos. A diferencia de la cuenca del Balsas donde el sellamiento ocurre principalmente en la parte alta, en la cuenca de México y la de Lerma-Chapala este fenómeno cubre la mayor parte de las zonas funcionales medias y bajas. Los suelos de la cuenca del Papaloapan presentan una modificación distinta al resto de las cuencas, donde además de la agricultura interviene la ganadería y un sellamiento que incrementa en la parte media y baja de la cuenca.



	Nazas			Balsas			Cuenca de México			Lerma-Chapala			Papalopan		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Phaeozem	33.05	20.31		43.21	23.7	63.6	57	79	87.4	48.4	49.7	58.5			98
Andosol							23								
Luvisol				19.2	14.7		17			33			8	51	95
Leptosol	3.39	1.83		14.89	14.35	24.22							17	13	
Regosol		7.39	18.6	16.26	18.03	46.6							10	27	
Cambisol				32.2									17		
Calcisol		8.73	25.8												
Vertisol				72.46	72	86.9		82	86.3	61.8	79.4	97.1		96	92
Solonchak			10.3												
Gleysol															82
Durisol								78							
Solonetz									64.6						

Cuadro 1. Porcentaje de suelo modificado y sellado por zona funcional y por cuenca en función de causas. Donde agricultura de temporal, agricultura de riego; agricultura de riego y temporal; : ambas agriculturas y asentamientos humanos; : pecuario y agricultura; : agricultura, pecuario y asentamientos humanos.



Los suelos de tipo Phaeozem y Vertisoles, con propiedades favorables para la infiltración y retención del agua están sellados en las partes medias y bajas de las cuencas de México y de Lerma-Chapala, perdiendo así la posibilidad de participar en el proceso de regulación hídrica en estas cuencas. En la cuenca del Balsas, suelos profundos, permeables, como Luvisoles, Cambisoles y Vertisoles se encuentran sellados imposibilitando la infiltración y retención de humedad, y más bien incrementando la escorrentía superficial. En la cuenca del Papaloapan, los suelos más profundos y porosos (Vertisoles y Phaeozem) están también sellados en su parte media y baja.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los suelos proveen funciones esenciales para la sobrevivencia humana y la de los ecosistemas. Su papel en la regulación hidrológica, climática, de hábitat y de soporte están cada vez más valorados (Amundson et al. 2015; Dominati et al. 2010) y por ello, la conservación de estos cuerpos naturales se convierte en una imperiosa necesidad. Sin embargo, la escasa incorporación del conocimiento edáfico en la toma de decisiones conlleva a una pobre planeación del territorio y con ello, a la destrucción de los suelos (Bouma, 2014).

La concentración de la población y la ausencia de planeación ocasiona que en las cuencas de México, Lerma-Chapala y Papaloapan los suelos sellados y modificados cubren un rango de 53 a 70%, constituyendo áreas donde están alteradas las funciones de infiltración, percolación, propiciando más bien procesos de escurrimiento, que pueden ocasionar picos de caudal y erosión de suelos. En las cuencas del Balsas y del Nazas, este fenómeno se da en 16 a 28% de los suelos, donde se han sellado suelos de tipo Phaeozems, Cambisoles, Luvisoles, Vertisoles y Andosoles. Los umbrales de uso de suelo bajo los cuales las funciones hidrológicas de las cuencas disminuyen irremediablemente son muy variables. Estudios en cuencas experimentales señalan que una cobertura vegetal menor a 65% marca una transición hacia la degradación de la calidad de agua (Booth, 2000). Asimismo se menciona que superficies de sellamiento mayor a 10% en una cuenca ocasiona una degradación permanente en las condiciones hidrológicas (Schueler y Claytor, 1996; CWP 1998).

Debido a varios de los sistemas de producción agropecuarios vigentes, que promueven labranza, remoción total de la vegetación, suelos desnudos, los suelos que no se encuentran sellados presentan procesos de erosión hídrica y eólica que afectan hasta el 75% del territorio de cada una de las cinco cuencas (Garrido y Cotler, 2010) que al ocasionar una pérdida selectiva de partículas y destruir su estructura, modifica la capacidad de los suelos de infiltrar y retener humedad.

Los resultados obtenidos en las cinco cuencas coinciden con los resultados obtenidos sobre el grado de alteración de la dinámica funcional por Cotler *et al* (2010). En ese sentido, la intensidad del uso del suelo en la forma de actividades agropecuarias y el crecimiento de la zona urbana, estarían impactando fuertemente la integridad de las cuencas estudiadas, en términos de la posibilidad de proporcionar servicios hidrológicos a la población.



5. LITERATURA CITADA

- Amundson R., Guo Y., Gong P. 2003. Soil diversity and land use in the United States. *Ecosystems* 6:470-482
- Amundson R., Asefaw B.A., Hopmna W.J., Olson C., Szein E.A., Sparks L. D. 2015. Soil and human security in the 21st century. *Science* 348 (6235).
- Bouma J. 2014. Soil science contributions towards sustainable development goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177:111-120
- Bunch M.J., Morrison K.E., Parkes M.W., Venema H.D. 2011 Promoting health and well-being by managing for social-ecological resilience: the potential of integrating ecohealth and water resources management approaches. *Ecology and Society* 16:6
- Booth D. 2000. Forest cover, impervious surface area and the mitigation of urbanization impacts in King County Washington. Center for Urban resources management, University of Washington, Seattle, WA.
- Cotler H., Garrido A., Bunge V., Cuevas M.L. 2010 Las cuencas hidrográficas de México: priorización y toma de decisiones, 210-215 pp. En: Cotler H. (coord.) Las cuencas hidrográficas de México, diagnóstico y priorización. Instituto nacional de Ecología, Fundación Gonzalo Rio Arronte I.A.P., 231 p.
- CWP 1998. Rapid watershed planning handbook: a comprehensive guide for managing urbanizing watersheds. Center for watershed protection. Ellicott city, Maryland.
- DeFries R. y Eshleman K.N. 2004. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes* 18: 2183-2186
- Dominati E., Patterson M., Mackay A. 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics* 69: 1858-1868
- Farber S.C., Costanza R., Wilson M.A. 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological economics* 41: 375-392
- Flotermersch J.E., S. G. Leibowitz, R. A. Hill, J. L. Stoddard, M. C. Thoms and R. E. Tharme 2015. A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. *River Research and Applications* DOI: 10.1002/rra.2978
- Garrido A., Pérez D. J.L., Enriquez C. 2010. Delimitación de zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México, 14- 17 pp. En: Cotler H. (coord.) Las cuencas hidrográficas de México, diagnóstico y priorización. Instituto nacional de Ecología, Fundación Gonzalo Rio Arronte I.A.P., 231 p.
- Garrido A., Cotler H. 2010. Degradación de suelos en las cuencas hidrográficas de México, pp. 104-107. En: Cotler H. (coord.) Las cuencas hidrográficas de México, diagnóstico y priorización. Instituto nacional de Ecología, Fundación Gonzalo Rio Arronte I.A.P., 231 p.
- Krasilnikov P., M. C. Gutierrez-Castorena, R.J. Ahrens, C.O. Cruz-Gaistardo, Solleiro-Rebolledo E. 2013. The soils of Mexico. Springer, 181p.



IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Shuster W.D., Bonta J., Thurston H., Warnemuende E., Smith D.R. 2005. Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. Urban Water Journal, Vol. 2, 4: 263 – 275.
- Schueler, T.R., and R.C. Claytor, 1996. Impervious cover as an urban stream indicator and a watershed management tool, Effects of Watershed Development and Management on Aquatic Ecosystems, Proceedings of an Engineering Foundation Conference, August 4–9, 1996, Snowbird, Utah (American Society of Civil Engineers, New York, New York), pp. 513–529



Extenso ID: 97. Swany Morteo Montiel^a, Martha Bonilla Moheno^a, Carlos A. Muñoz Robles^b, Luciana Porter Bolland^c y Edward A. Ellis^d. FACTORES CATALIZADORES DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO EN ATZALAN, VERACRUZ: UN CASO DE TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO BOBOS

[Regresar al índice](#)

^aRed de Ambiente y Sustentabilidad. Instituto de Ecología, A.C. Carretera Antigua a Coatepec No. 351 El Haya, Xalapa, Veracruz, México., email: morteoms1042@gmail.com

^bInstituto de Investigación de Zonas Desérticas y Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, UASLP, México.

^cRed de Ecología Funcional. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México.

^dCentro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.

RESUMEN

El cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS) es considerado un factor determinante del cambio global. Identificar dónde y por qué están ocurriendo estos cambios ayuda a determinar las causas y procesos que influyen en la transformación de paisajes. La mayoría de los estudios en México se han centrado en analizar factores impulsores del CCUS en diferentes regiones, sin embargo, pocas veces se han identificado factores a varios niveles espaciales de análisis. En este estudio identificamos las causas determinantes del cambio de la vegetación arbórea (deforestación y reforestación) en el municipio de Atzalan, Veracruz a dos niveles: municipio y zona altitudinal. Para clasificar las principales coberturas del suelo se utilizaron imágenes LANDSAT (1990, 2002 y 2014). Para identificar las causas asociadas al cambio de la vegetación arbórea se emplearon regresiones logísticas al nivel municipal y por zona altitudinal. Los resultados mostraron que durante el periodo de estudio (1990-2014) el municipio registró principalmente una expansión de cítrico y una disminución de la vegetación arbórea. En el municipio la deforestación ocurrió principalmente lejos de ríos, mientras que la reforestación en áreas lejanas a caminos y núcleos agrarios. De manera particular, en las tres zonas altitudinales y en ambos periodos analizados (1990-2002, 2002-2014), hubo una deforestación hacia pastizal, plantaciones de plátano y cítrico, siendo la zona baja la más transformada. Los cambios se relacionaron con variables de accesibilidad y ambientales que variaron según la zona de estudio. Además, en la zona alta la deforestación se dio en los remanentes de vegetación arbórea existentes, sin importar su accesibilidad, mientras que en las tres zonas altitudinales la reforestación ocurrió en sitios aislados (lejos a caminos, localidades urbanas, ríos, o con mucha pendiente). Los distintos niveles espaciales de análisis proporcionan información valiosa para la toma de decisiones y manejo integrado de cuencas.

Palabras clave: Deforestación, Reforestación, Causas directas e indirectas de cambio, niveles espaciales



1 INTRODUCCIÓN

En México, la deforestación y degradación de bosques ha sido ocasionada principalmente por la expansión de la ganadería y la agricultura, así como por el reemplazo de bosques secundarios a cultivos con valor comercial, en donde las causas subyacentes asociadas a estos cambios están relacionadas a factores políticos, institucionales, demográficos, socioeconómicos, biofísicos-ambientales y a la interacción entre estos (Turner *et al.*, 2001; Muñoz-Villers y López-Blanco, 2008; Farley *et al.*, 2012; Campos *et al.*, 2012; Palacios *et al.*, 2013). En particular, algunos autores han encontrado que la proximidad a áreas urbanas y a caminos, así como algunas variables ambientales (precipitación y elevación) están estrechamente relacionadas con cambios en la cobertura de bosques (Mas *et al.*, 2004; Porter-Bolland *et al.*, 2007; Bonilla-Moheno *et al.*, 2012; Osorio *et al.*, 2015). Sin embargo, pocos estudios han evaluado los factores del CCUS a través de múltiples escalas espaciales (i.e., Pineda *et al.*, 2009; Bonilla-Moheno *et al.*, 2012; Cruz-Huerta *et al.*, 2015). Estos estudios han identificado a las variables demográficas, de proximidad y biofísicas como las determinantes de la deforestación, aunque la importancia de cada variable varía de acuerdo a la escala de análisis. Por ejemplo, un estudio determinó que a nivel regional, distancia a áreas agrícolas y variables ambientales (elevación y pendiente) son predictores más importantes de la deforestación, mientras que a nivel municipal son las variables de distancia (a caminos, corrientes permanentes, poblados) las más relevantes (Cruz-Huerta *et al.*, 2015). Integrar información sobre CCUS a diferentes escalas espaciales permite identificar la magnitud en la que cada factor influye en cada escala (e.g., Kok y Veldkamp, 2001; Chowdhury, 2006; Yackulic *et al.*, 2011; Bonilla-Moheno *et al.*, 2012; Cruz-Huerta *et al.*, 2015). A su vez, esta comprensión permite una mejor planeación del uso del suelo y manejo ambiental (De Koning *et al.*, 1998; Verburg y Veldkamp 2004).

Atzalan se ubica en el centro de Veracruz y es el municipio de mayor superficie dentro de la subcuenca Río Bobos. Presenta una alta diversidad de paisajes como resultado de las características topográficas (gradiente altitudinal), climáticas, entre otras, posicionándolo como un municipio con grandes recursos naturales (Ramírez y Vargas, 2010). Sus remanentes de vegetación natural contribuyen a la protección de los principales afluentes de la subcuenca que atraviesan en el municipio, proporcionando servicios ecosistémicos imprescindibles. No obstante, en las últimas décadas, la superficie de la vegetación natural y los sistemas agroforestales de café ha experimentado un declive por el aumento de monocultivos comerciales de plátano y cítrico, principalmente como respuesta a la influencia que tienen los precios del mercado en la toma de decisiones de los productores locales (Baerenklau *et al.*, 2012; Ruiz *et al.*, 2013). Esta presión económica ha fomentado el incremento de las prácticas agrícolas en la región, afectando la biodiversidad y en los servicios ecosistémicos y repercutido en el manejo de la subcuenca. Comprender las causas de la dinámica de la cobertura de bosques es una herramienta que ayuda en la toma de decisiones del uso del suelo. Por lo tanto, en este estudio identificamos las causas que han influido en la pérdida y ganancia de vegetación arbórea de Atzalan a diferentes niveles espaciales de análisis en las últimas dos décadas.



2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Atzalan se localiza en la zona centro del estado de Veracruz en la región hidrológica 27 (RH 27) a una altitud promedio de 1,660 m s.n.m. Atzalan está conformado por 197 localidades (INEGI, 2009), la mayoría con un alto grado de marginación (CONAPO, 2010). Su clima predominante es el semicálido húmedo (INEGI, 2009) con una temperatura promedio anual de 16.2 °C y una precipitación pluvial media anual de 2,245.5 mm. El municipio se caracteriza por un amplio gradiente altitudinal que ha favorecido la gran heterogeneidad de paisajes (Ruiz *et al.*, 2013). Este mosaico de diversos tipos de vegetación, en diferentes estados sucesionales, se presenta en toda la cuenca del río Nautla (Riemann, 2015). En la parte alta-media de la cuenca, el bosque mesófilo de montaña se encuentra fragmentado y se practica la agricultura de temporal. En la parte media, los remanentes de bosque tropical perennifolio representan principalmente vegetación secundaria y existe predominancia de prácticas ganaderas. En la parte baja de la cuenca hay mayor presencia de pastizales inducidos (Riemann, 2015).

En comparación con las otras subcuencas que conforman la cuenca del Río Nautla y Otros, la subcuenca Río Bobos ocupa la mayor superficie (34.7%), albergando la mayor población (48.8%), y además comprendiendo en su totalidad o de manera parcial un mayor número de municipios. En Atzalan, junto con Altotonga y Martínez de la Torre se encuentra la mayoría de la población de esta subcuenca (57%; elaboración propia a partir de datos del INEGI, 2010).

Con el fin de determinar la magnitud en la que las causas influyen sobre el cambio de la vegetación arbórea, nuestro estudio involucró dos niveles espaciales de análisis. Las unidades de estudio fueron a nivel municipal y a nivel de zona altitudinal (alta, media, baja). Estas últimas presentan características ambientales particulares (i.e., elevación, clima y tipos de vegetación): alta (1201-2051 m s.n.m., templado húmedo, bosque mesófilo de montaña-bosque de pino-encino), media (601-1200 m s.n.m., semicálido húmedo, selva perennifolia y bosque mesófilo de montaña) y baja (201-600 m s.n.m., cálido húmedo, selva perennifolia).

2.2 CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA Y USO DEL SUELO

2.2.1 Procesamiento y clasificación de imágenes

Para elaborar la clasificación de cobertura del suelo, se utilizaron imágenes de satélite LANDSAT (USGS; <http://earthexplorer.usgs.gov/>) de los años 1990 (Landsat 4 MSS), 2002 (Landsat 7 ETM) y 2014 (Landsat 8 OLI/TIRS) a las cuales se le aplicó una corrección atmosférica usando ENVI 5.0. Se realizó una clasificación supervisada (máxima verosimilitud) utilizando áreas de entrenamiento creadas a partir de puntos tomados en campo (muestreo dirigido en septiembre 2013, marzo y abril 2014) de diversas coberturas y usos del suelo del municipio. Para la clasificación final y la validación de las clases, se colectaron más puntos de entrenamiento y verificación en agosto y octubre de 2014. Finalmente, para incrementar la precisión de las clasificaciones, se realizó una corrección manual principalmente en las coberturas de suelo con mayor error (i.e., milpa, suelo desnudo, plantaciones de plátano), tomando como referencia una ortofoto digital de 1995 e imágenes de Google Earth. Los mapas de las coberturas y uso del suelo de los tres años incluyeron en total siete clases: vegetación arbórea (selva mediana, bosque mesófilo de montaña, bosque de



pino-encino, cafetales de sombra y plantaciones de pino), milpa (maíz, frijol, calabaza), plantaciones de cítricos, plátanos y caña, pastizal y suelo desnudo/infraestructura. Estos mapas se generaron para cada zona altitudinal con una resolución de 30 m.

Para determinar el porcentaje de píxeles clasificados correctamente, se creó una matriz de confusión (Congalton, 2005) en ENVI 5.0, usando los puntos de verificación. También se calculó el coeficiente Kappa el cual entre más cercano a 1 indica una mayor fiabilidad de las clases (Congalton, 2005).

2.2.2 Análisis del cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS)

Para determinar las dinámicas del CCUS se calcularon las tasas de cambio anual de cada cobertura y uso del suelo en dos periodos (1990-2002, 2002-2014) así como el periodo completo de estudio (1990-2014) usando la fórmula propuesta por la FAO (1996):

$$dn = \left[\frac{S2}{S1} \right]^{1/n} - 1,$$

donde: dn = tasa de cambio; $S1$ = superficie en la fecha 1; $S2$ = superficie en la fecha 2; n = número de años entre las dos fechas ($t2 - t1$). Este resultado se expresa en porcentaje para su análisis.

2.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES CATALIZADORES DEL CCUS

Con el fin de relacionar el cambio de la vegetación arbórea con posibles variables explicativas, se utilizó el módulo de “*land change modeler*” de IDRISI Selva 17.02 a partir del cual se creó un mapa de transición (pérdida, ganancia de la vegetación arbórea) del periodo 1990-2014 del municipio y de las tres zonas altitudinales (alta, media y baja). Las variables independientes (ambientales y socioeconómicas) se obtuvieron de diversas fuentes de información (Tabla 1) y fueron procesadas en IDRISI Selva 17.02. Para obtener la información espacial de la distancia a caminos, carreteras, áreas urbanas, ejidos y ríos previamente se calculó la distancia euclidiana en ArcMap 10.2.2.



Tabla 1. Variables independientes empleadas para la identificación de los principales factores impulsores del cambio de la vegetación arbórea.

Variables explicativas	Tipo	Descripción	Fuente
Factores ambientales			
Elevación	Continuo	De 201 a 2051 m snm	Derivado del modelo digital de elevación de 15 m. de resolución espacial (INEGI, 2013).
Pendiente	Continuo	De 0° a 70.12°	
Precipitación total anual	Continuo	De 1467 a 2506 mm	Capas climáticas de Bioclimas Neotropicales de 1 km. de resolución espacial (Cuervo-Robayo <i>et al.</i>, 2013).
Distancia a ríos	Continuo	Distancia euclidiana	Derivado de las cartas topográficas, escala 1:50,000. (INEGI, 2015).
Factores socioeconómicos			
Distancia a caminos (veredas y brechas)	Continuo	Distancia euclidiana	Derivado de las cartas topográficas, escala 1:50,000. (INEGI, 2015).
Distancia a carreteras (pavimentada y terracería)	Continuo	Distancia euclidiana	
Distancia a áreas urbanas	Continuo	Distancia euclidiana	
Distancia a núcleos agrarios (ejidos)	Continuo	Es un tipo de propiedad. Distancia euclidiana de los límites ejidales	Polígonos de los núcleos agrarios (RAN, 2015).

2.3.1 Análisis estadístico

Para identificar los principales factores de la deforestación (pérdida de la vegetación arbórea) y reforestación (ganancia de la vegetación arbórea), se realizaron regresiones logísticas individuales a nivel municipal y zona altitudinal en IDRISI Selva 17.02 (Hosmer y Lemeshow, 2000). Para determinar la mejor variable individual explicativa del cambio de la vegetación arbórea se usaron como parámetros la bondad de ajuste (la de menor valor) y la pseudo r^2 (la de mayor valor). También se tomó en cuenta la razón de proporciones (*odds ratio*) ajustados (OR), entre más alto sea el valor de estos OR, mayor la proporción de veces en que el cambio pueda ocurrir. Para validar el poder explicativo de los modelos se calculó además el parámetro ROC (Relative Operating Characteristic; Pontius Jr. y Batchu, 2003), donde variables explicativas con altos valores de ROC determinan una mejor relación con el cambio de la vegetación arbórea.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los porcentajes de precisión y el coeficiente Kappa fueron altos ($> 80\%$ precisión y > 0.75 coeficiente Kappa). Cada zona altitudinal presentó diferencias en el número de clases de cobertura y uso del suelo (Fig. 1): cuatro en la zona alta (milpa, pastizal, suelo desnudo/infraestructura y vegetación arbórea); siete en la zona media (plantaciones de caña, cítrico y plátano, milpa, pastizal, suelo desnudo/infraestructura y vegetación arbórea); y seis en zona la baja (plantaciones de cítrico y plátano, milpa, pastizal, suelo desnudo/infraestructura y vegetación arbórea).

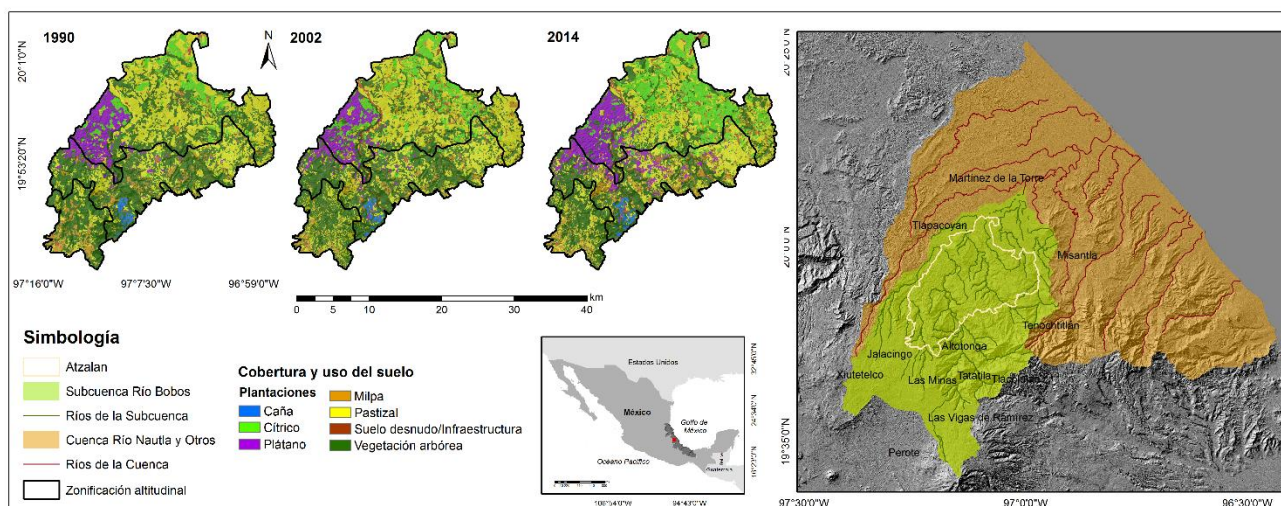


Figura 1. Cobertura y uso del suelo en Atzalan, Veracruz durante 1990, 2002 y 2014.

3.1 CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO

Las áreas de vegetación arbórea manifiestan perturbaciones a lo largo del municipio que repercuten en la parte baja de la cuenca del río Nautla. Durante el periodo evaluado se identificaron dos claras tendencias de cambio de vegetación en el municipio de Atzalan: 1) expansión de áreas agrícolas y pecuarias; 2) reducción de la cobertura arbórea y reemplazo de las plantaciones de café de sombra por plantaciones de cítricos y plátano. Estos cambios que han modificado la distribución espacial de la vegetación arbórea dentro de la subcuenca, nos permite tener una idea del futuro del municipio,



ya que las tasas de cambio de cobertura y uso del suelo actúan como referentes de los próximos cambios en la subcuenca y de su funcionamiento (Cotler, *et al*, 2010).

Nivel municipal: En el periodo de 1990 a 2014, la mayor tasa negativa (pérdida) de cambio de cobertura y uso del suelo correspondió a la vegetación arbórea (-1.36%), mientras que la mayor tasa positiva (ganancia y/o aumento) a las plantaciones de cítrico (3.76%). Estos cambios de disminución y aumento de cobertura fueron mayores durante el segundo periodo (2002-2014). Además, durante este periodo el área de pastizal disminuyó siendo reemplazado por sistemas agrícolas comerciales, similar a lo reportado por Baerenklau *et al.* (2012) en la parte baja del municipio en el 2006, donde hubo una disminución del pastizal del 20% y un aumento del 40% de cultivos de cítrico y plátano. Estos usos del suelo dominantes concuerdan a lo ocurrido en el 2009 para el municipio, en donde registró mayor superficie de áreas agrícolas, seguida de las ganaderas (Ramírez y Vargas, 2010). Esta misma tendencia de uso del suelo ocurre en la cuenca del Río Nautla, ya que para el 2010 la vegetación natural se encontraba fragmentada y degradada cubriendo sólo 18.3% y los usos agropecuarios como el pastizal y la agricultura abarcaron la mayor superficie (81.7%) de la cuenca (Travieso-Bello y Álvarez-Espinosa, 2013), principalmente los pastizales en la parte baja de la cuenca (Riemann, 2015). Así las actividades productivas que se practican en la cuenca del río Nautla han contribuido a la fragmentación de la vegetación natural por los cambios del uso del suelo (Riemann, 2015). Este deterioro y reducción de la vegetación arbórea afecta a la biodiversidad y a los servicios ecosistémicos que provee la subcuenca y por consiguiente a la cuenca, especialmente en la parte baja (Travieso-Bello y Álvarez-Espinosa, 2013). Aunado a la deforestación, la erosión, la contaminación y azolve de afluentes, entre otros, conlleva a una problemática ambiental que afecta la disponibilidad y calidad del agua en la cuenca (Ruelas-Morjandín y Martínez-Muñoz, 2013).

Nivel zona altitudinal: En general, la pérdida de vegetación arbórea se dio principalmente en las zonas media y baja. Durante el periodo completo (1990-2014), la tasa anual de pérdida y ganancia mayor en la zona alta fue la milpa (-1.03%) y el suelo desnudo/infraestructura (1.55%). En la zona media, la única tasa negativa fue la vegetación arbórea (-1.66%) y principalmente aumentaron las plantaciones de cítricos (5.43%). En la zona baja, las mayores tasas la registraron la vegetación arbórea (-1.67%) y el pastizal (-1.4%) y plantaciones de cítricos (3.62%) y plátano (0.67%). En ambos periodos, las principales tasas de cambio variaron a través de las zonas altitudinales. Durante el primer periodo (1990-2002), en la zona alta la principal tasa anual de pérdida y ganancia fue la milpa (-4.11%) y el pastizal (3.29%) respectivamente, mientras que en la zona media la milpa (-1.38%) y las plantaciones de cítrico (4.76%), y en la zona baja la vegetación arbórea (-2.40%) y la milpa (7.11%). Para el segundo periodo (2002-2014), la zona alta experimentó una reducción en la cobertura de pastizal (-0.61%) y un aumento de milpa (2.15%), en la zona media una disminución de la vegetación arbórea con la mayor tasa anual de deforestación (-3.12%) y un incremento en las plantaciones de plátano (8.75%), mientras que en la zona baja una disminución de la milpa (-7.40%) y un aumento de las plantaciones de cítrico (4.94%).

3.2 CAUSAS DEL CCUS EN ATZALAN, VERACRUZ

Los resultados de los modelos de regresión logística, coinciden con lo reportado en otras investigaciones donde se han identificado que la distancia a localidades urbanas, caminos o carreteras, así como la precipitación y elevación se relacionan con cambios en la cobertura forestal



(i.e., Mas *et al.*, 2004; Porter-Bolland *et al.*, 2007; Bonilla-Moheno *et al.*, 2012; Osorio *et al.*, 2015; Mertens y Lambin, 1997; Wilson *et al.*, 2005; Hyandye *et al.*, 2015; Bavaghar, 2015).

3.2.1 Nivel municipal

Deforestación: La precipitación (coeficiente positivo) demostró ser la mejor variable predictora de manera individual ($r^2 > 0.2$, ROC más alto), seguida de la distancia a ríos (coeficiente positivo), implicando que la deforestación se da principalmente en áreas con mayor precipitación y lejos de ríos. En la parte media de la cuenca, donde se ubica Atzalan, es donde se reporta mayor precipitación (Riemann, 2015), por lo que este municipio puede verse más expuesto a inundaciones tras la eliminación de la cobertura vegetal.

Reforestación: Ninguna variable tuvo una relación significativa con la ganancia en la vegetación arbórea, sin embargo, las áreas con pendientes pronunciadas y aquellas cercanas a ríos tuvieron mayor asociación a la ganancia de la vegetación arbórea. Esto coincide con lo identificado visualmente durante el segundo periodo (2002-2014), donde la mayor regeneración de la vegetación arbórea ocurrió en áreas de difícil acceso (i.e., pendientes más pronunciadas), lo que sugiere una disminución, o abandono de zonas agrícolas (principalmente milpa). Este mismo proceso ha sido ampliamente descrito en otras regiones tropicales del mundo, en donde áreas con topografía abrupta son más propensas a ser reforestadas (Crk *et al.*, 2009; Yackulic *et al.*, 2011; Newman *et al.*, 2014). Además, en áreas lejanas a caminos y núcleos agrarios comúnmente ocurre este proceso mientras que en áreas cerca a éstos se da la deforestación.

3.2.2 Nivel zona altitudinal

Las variables que mejor explicaron la pérdida y ganancia de la vegetación arbórea variaron a través de las zonas altitudinales. En el caso de las variables ambientales, no mostraron una clara diferencia entre el lugar donde está ocurriendo cada proceso dinámico (deforestación y reforestación) ya que en áreas con elevaciones más altas y mayor precipitación están ocurriendo las mayores pérdidas y ganancias de la vegetación arbórea. Es posible que la mayoría de la vegetación arbórea se encuentra en éstas áreas altas incrementando la posibilidad de sufrir cambios puesto que las demás áreas forestales ya han sido transformadas. Sólo en la zona baja ocurren estos procesos en lugares opuestos siendo más frecuente la reforestación en áreas con menor elevación y la deforestación en áreas más altas. Esta situación difiere de otros estudios en regiones tropicales donde las áreas de menor elevación y precipitación son más propensas a ser deforestadas (Turner *et al.*, 2001; Wilson *et al.*, 2005; Hyandye *et al.*, 2015; Pineda *et al.*, 2009). En consecuencia, nuestros modelos indican que la elevación afecta el cambio de la vegetación arbórea, pero a elevaciones más bajas (zona baja).

Deforestación: Individualmente, la elevación y la precipitación (coeficientes positivos) fueron las mejores variables explicativas ambientales ($r^2 > 0.2$), en donde las áreas con mayor elevación y precipitación, independientemente de la zona altitudinal, fueron más propensas a cambios en la vegetación arbórea. La distancia a ríos (coeficiente positivo) fue un factor ambiental predictor para la zona media, indicando que entre más alejado de ríos, mayor es la pérdida de la vegetación arbórea. Sin embargo, en las zonas alta y baja, la distancia a ríos está relacionado negativamente



con la deforestación, ocurriendo con mayor frecuencia en las zonas cercanas a estos afluentes, los cuales generalmente son preferibles para el establecimiento de asentamientos humanos, agricultura de subsistencia (Röder *et al.*, 2015) y suministro de agua para el ganado. Las variables socioeconómicas sugieren que a mayor distancia de las zonas urbanas (zonas alta y baja) y mayor cercanía de las carreteras (zona media), mayor es la pérdida de la vegetación arbórea. Otros estudios reportaron tendencias similares con la proximidad a áreas urbanas (Pineda *et al.*, 2009) y caminos como principales factores de la deforestación (Mertens y Lambin, 1997; Wilson *et al.*, 2005; Osorio *et al.*, 2014; Bavaghar, 2015) ya que éstas vías de comunicación actúan como precursores y atrayentes para la incorporación de actividades agropecuarias (SEMARNAT, 2002). La pérdida de la vegetación arbórea ocurre frecuentemente en áreas lejos de carreteras (zona alta), ríos (zona media) y de mayor elevación (zona baja).

Reforestación: Variables ambientales como la elevación y la precipitación fueron las que mejor explicaron la reforestación de manera individual ($r^2 > 0.2$). Ambas variables son explicativas con coeficientes positivos (excepto elevación en la zona baja). Además, la distancia a ríos en la zona alta, se relacionó positivamente con la reforestación en áreas alejadas de los ríos, ocurriendo lo contrario en la zona media. La pendiente en la zona baja fue un buen predictor para la reforestación (ROC más alto) favoreciendo la recuperación de la vegetación arbórea en las zonas escarpadas debido a la inaccesibilidad. Las variables socioeconómicas que predicen la reforestación fueron la distancia a áreas urbanas (zonas alta y media) y la distancia a carreteras (zona baja), que tienen un efecto positivo sobre la reforestación en zonas alejadas de las áreas urbanas y carreteras ya que estas áreas aisladas son frecuentemente abandonadas (Crk *et al.*, 2009; Newman *et al.*, 2014). La ganancia de la vegetación arbórea ocurre a menudo en sitios aislados lejos de caminos (zona media y baja), áreas urbanas (zona media) y ríos (zona alta y baja).

3.2.3 Evaluación de las causas del CCUS en diversos niveles espaciales

La integración de los factores conductores del CCUS a múltiples niveles espaciales de análisis ayudó a identificar los predictores más importantes que explican el cambio de vegetación arbórea por nivel y a entender dónde y por qué se producen estos cambios. El efecto y la importancia de cada variable explicativa sobre la deforestación y reforestación varió entre cada nivel e incluso entre las tres zonas altitudinales confirmando lo que otros autores han encontrado en México (Chowdhury, 2006; Bonilla-Moheno *et al.*, 2012; Cruz-Huerta *et al.*, 2015), América central (Kok y Veldkamp, 2001) y Puerto Rico (Yackulic *et al.*, 2011). Estos resultados, de acuerdo con el nivel específico, podrían contribuir al manejo ambiental y la planeación del uso del suelo de la subcuenca (De Koning *et al.*, 1998; Verburg y Veldkamp 2004).

3.2.4 Futuro del uso del suelo en Atzalan

Las decisiones de los productores que determinaron el CCUS en Atzalan fueron influenciadas por oportunidades económicas, principalmente en la zona baja. Esto concuerda con lo ya reportado (Ellis *et al.* 2015) a través de un modelo econométrico en el cual demuestra que las actividades de los productores de la parte baja de Atzalan responden a los precios del mercado. Esta situación también ocurre en la cuenca (Riemann, 2015), dando como resultado la expansión e intensificación agrícola en zonas con vegetación arbórea y milpa (Baerenklau *et al.*, 2012). Por ejemplo, cuando



bajó el precio del café (finales de los 80 y principios de los 90), en Atzalan se reemplazaron las plantaciones de café de sombra por plantaciones de plátanos y/o cítricos, al predominar éstas en municipios vecinos (Martínez de la Torre y Tlapacoyan; Ruiz *et al.*, 2013) y con gran prevalencia de estos cultivos en la región Totonaca-Nautla (Ellis y Martínez-Bello, 2010). Esta tendencia de cambio ocurre de igual manera en el centro de Veracruz, donde las áreas de vegetación natural y cafetales se redujeron por el aumento de la ganadería y caña de azúcar incrementando las áreas deforestadas (Hoffmann y Velázquez, 1993; Muñoz-Villers y López-Blanco, 2008). Asimismo, el apoyo proporcionado por el gobierno municipal para la comercialización de los productos y la creación de una organización de productores de plátanos (Romo-Lozano *et al.*, 2012), contribuyó a la introducción del cultivo en el municipio. Debido a la dependencia de los mercados (Ellis *et al.*, 2015) y apoyo gubernamental que tiene el municipio, es posible que los productores continúen con la misma tendencia de expansión de cultivos comerciales y de pastizales en los próximos años, lo que conlleve a mayor deforestación, que tendrán un efecto en la biodiversidad y servicios ecosistémicos a nivel local y de cuenca. Por ahora, sólo el proyecto de “Diversidad Productiva de Cafetales de Baja altitud” (DIPROCAFE) actualmente DIPROUV, que promueve la diversificación productiva para evitar la reducción de la cobertura arbórea y combatir la pobreza, podría ser una alternativa de manejo de la tierra en Atzalan ante los problemas ambientales y económicos, siempre y cuando se integre además la participación de más actores en su planeación (Ellis *et al.* 2015). Asimismo, la identificación de áreas potenciales para su restauración y conservación en el municipio contribuirían como herramienta para la toma de decisiones para el mantenimiento de la vegetación arbórea.

4 CONCLUSIONES

El municipio de Atzalan ha experimentado cambios complejos entre las diferentes coberturas del suelo durante los dos períodos analizados, diferenciados por la zona altitudinal. Estos cambios se reflejan en la variación espacial de la distribución de la vegetación arbórea dentro de la subcuenca.

Las áreas de vegetación arbórea las cuales proveen hábitat para la vida silvestre y contribuyen con la regulación de los servicios ecosistémicos en esta parte de la subcuenca, se han visto reducidas a lo largo del municipio en las últimas décadas. Durante los 24 años analizados, la principal causa próxima de esta pérdida de vegetación arbórea se debió a la expansión de cultivos comerciales (cítrico y plátano) y áreas de pastoreo, tal como ha ocurrido en la cuenca del río Nautla, en donde las actividades productivas han contribuido a la reducción y fragmentación del paisaje natural por los cambios del uso del suelo que repercuten principalmente en la cuenca baja. Estas tendencias de cambio son consistentes en ambos niveles de análisis, siendo más evidente en la zona baja del municipio, por lo que en general, estos cambios del uso del suelo dentro de la subcuenca podrían afectar la diversidad y servicios ecosistémicos. De esta forma, la restauración en áreas riparias, principalmente en las zonas alta y baja del municipio, ayudará a mantener la conectividad de vegetación natural.

La principal causa próxima de la ganancia de la vegetación fue el descanso de la tierra o el abandono de las áreas ganaderas y agrícolas (milpa) lo que contribuyó al crecimiento de vegetación secundaria y por consiguiente al aumento de la vegetación arbórea en áreas de difícil acceso.



A pesar que los factores ambientales explican mejor la deforestación y reforestación tanto a nivel municipal como altitudinal, la importancia y el efecto de cada variable varió entre cada nivel e incluso entre cada zona altitudinal. En general, el conjunto de variables biofísicas y de proximidad (principalmente distancia a áreas urbanas, ríos, elevación, precipitación anual y pendiente), así como la respuesta a oportunidades económicas por los pobladores hacia mercados nacionales e internacionales, junto con la intervención gubernamental para el desarrollo agropecuario, han influido en el cambio de la vegetación arbórea en Atzalan con implicaciones ambientales a nivel cuenca.

5 AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al CONACYT (Beca No. 364239 otorgada a S.M.M), al Instituto de Ecología, A.C., al US Fish and Wildlife Service – Wildlife Without Borders/México Award #F13AP00263 y Award #F15AP00270 y a los productores del municipio de Atzalan para la realización de este proyecto.

6 REFERENCIAS

- Baerenklau, K., Ellis E. y Marcos-Martínez, R. 2012. Economics of land use dynamics in two Mexican coffee agroforests: implications for the environment and inequality. *Investigación Económica*, LXXI Enero-Marzo, 93-124.
- Bavaghar, M. P. 2015. Deforestation modelling using logistic regression and GIS. *Journal of Forest Science*, 61(5):193–199.
- Bonilla-Moheno, M., Aide, T. M. y Clark, M. L. 2012. The influence of socioeconomic, environmental, and demographic factors on municipality-scale land-cover change in Mexico. *Regional Environmental Change*, 12(3):543-557.
- Campos, M., Velázquez, A., Bocco, G., Skutsch, M., Boada, M. y Priego-Santander, A. G. 2012. An interdisciplinary approach to depict landscape change drivers: A case study of the Ticuiz agrarian community in Michoacan, Mexico. *Applied Geography*, 32(2):409-419.
- Congalton, R. G. 2005. Thematic and positional accuracy assessment of digital remotely sensed data. In *Proceedings of Seventh Annual Forest Inventory and Analysis Symposium*. Vol. 1, 51 p.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2010. Índice de marginación por localidad, 2010. En: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010
- Cotler, H., Garrido, A., Bunge, V. y Cuevas, M. L. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: Priorización y toma de decisiones. En: Cotler, H. *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*. Pluralia Ediciones e Impresiones SA de CV, México, 210-215 pp.



- Crk, T., Uriarte, M., Corsi F. y Flynn, D. 2009. Forest recovery in a tropical landscape: What is the relative importance of biophysical, socioeconomic, and landscape variables? *Landscape Ecology*, 24(5):629-642.
- Cruz-Huerta, C., González-Guillén, M. J., Martínez-Trinidad, T. y Escalona-Maurice, M. J. 2015. Modeling land-use change and future deforestation in two spatial scales. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 21(2):137-156.
- Cuervo-Robayo, A. P., Téllez-Valdés, O., Gómez-Albores, M. A., Venegas-Barrera, C. S., Manjarrez, J. y Martínez-Meyer, E. 2013. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*, 34(7):2427-2437.
- Chowdhury, R. R. 2006. Landscape change in the Calakmul Biosphere Reserve, Mexico: Modeling the driving forces of smallholder deforestation in land parcels. *Applied Geography*, 26(2):129-152.
- De Koning, G. H. J., Veldkamp, A. y Fresco, L. O. 1998. Land use in Ecuador: a statistical analysis at different aggregation levels. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 70(2):231-247.
- Ellis, E. A. y Martínez-Bello, M. 2010. Vegetación y uso de suelo. En: Benítez-Badillo, G. y Welsh-Rodríguez, C. (coord.). *Tomo I Patrimonio natural de Veracruz*. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y de la Revolución Mexicana, Gobierno del Estado de Veracruz/Universidad Veracruzana, México. 203-226 pp.
- Ellis, E. A., Baerenklau, K. A. y Marcos-Martínez, R. 2015. Factores socioeconómicos e institucionales en el cambio de uso del suelo en zonas cafetaleras de baja altitud en Veracruz y sus implicaciones para la gobernanza ambiental. En: Ruelas-Monjardín, L. C., Travieso-Bello, A. C. y Sánchez-Sánchez, O. M. (coord.). *Gobernanza ambiental: Teoría y práctica para la conservación y uso sustentable de los recursos*. El Colegio de Veracruz/Universidad Veracruzana/Plaza y Valdés Editores, México. 711-737 pp.
- Farley, K. A., Ojeda-Revah, L., Atkinson, E. E. y Eaton-González, B. R. 2012. Changes in land use, land tenure, and landscape fragmentation in the Tijuana River Watershed following reform of the ejido sector. *Land Use Policy*, 29(1):187-197.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1996. *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Number 130. Rome, Italy. 152 p.
- Hoffmann, O., y Velazquez, E. 1993. Sistemas de producción e historia: Una propuesta para el análisis regional (Centro Veracruz, Mexico). En: Navarro H., Colin, J.-P. y Milleville, P. (eds.). *Sistemas de producción y desarrollo agrícola*. ORSTOM/CONACYT, México, D.F. 119-129.
- Hosmer, D. W. y Lemeshow, S. 2000. *Applied logistic regression*. John Wiley and Sons, New York, 375 p.



- Hyandye, C., Mandara, C. G. y Safari. J. 2015. GIS and logit regression model applications in land use/land cover change and distribution in Usangu Catchment. *American Journal of Remote Sensing*, 3(1):6-16.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Atzalan, Veracruz de Ignacio de la Llave. En: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/30/30023.pdf> Fecha de consulta 16 de abril de 2014.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0, Cuenca Hidrográfica R. Nautla Y Otros /R. H. Tuxpan – Nautla. En: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/Topografia/Descarga.aspx> Fecha de consulta 1 de agosto de 2016.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2013. Capa del continuo de elevaciones mexicano 3.0 (CEM 3.0). En: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx> Fecha de consulta 10 de julio de 2015.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2015. Información topográfica escala 1:50000, de Altotonga, Misantla y Martínez de la Torre. En: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/> Fecha de consulta 10 de julio de 2015.
- Kok, K., y Veldkamp. A. 2001. Evaluating impact of spatial scales on land use pattern analysis in Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1):205-221.
- Mas, J. F., Puig, H., Palacio J. L. y Sosa-López, A. 2004. Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks. *Environmental Modelling and Software*, 19(5):461-471.
- Mertens, B. y Lambin, E. F. 1997. Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon: Spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography*, 17(2):143-162.
- Muñoz-Villers, L. E., y López-Blanco. J. 2008. Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 29(1):71-93.
- Newman, M. E., McLaren, K. P. y Wilson, B. S. 2014. Long-term socio-economic and spatial pattern drivers of land cover change in a Caribbean tropical moist forest, the Cockpit Country, Jamaica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 186:185-200.
- Osorio, L. P., Mas, J. F., Guerra, F. y Maass, M. 2015. Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, (88):60-74.
- Palacios, M. R., Huber-Sannwald, E., Barrios, L. G., de Paz, F. P., Hernández J. C. y Mendoza, M. D. G. G. 2013. Landscape diversity in a rural territory: emerging land use mosaics coupled to livelihood diversification. *Land Use Policy*, 30(1): 814-824.



- Pineda, N. B., Bosque, J., Gómez M. y Plata, W. 2009. Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, (69):33-52.
- Pontius Jr, R. G. y Batchu, K. 2003. Using the relative operating characteristic to quantify certainty in prediction of location of land cover change in India. *Transactions in GIS*, 7(4):467-484.
- Porter-Bolland, L., Ellis, E. A. y Gholz, H. L. 2007. Land use dynamics and landscape history in La Montaña, Campeche, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 82(4):198-207.
- Ramírez, M. y Vargas J. de J. 2010. *Recursos naturales y culturales del Municipio de Atzalan, Ver., con potencial para turismo de naturaleza*. Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero en recursos naturales renovables e Ingeniero en restauración forestal. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Registro Agrario Nacional (RAN). 2015. Polígonos de núcleos agrarios de Veracruz. En: <http://catalogo.datos.gob.mx/dataset/ncleos-agrarios/resource/9e8c13dc-375b-4ec2-b5f1-fe75e10f9023> Fecha de consulta 15 de abril de 2015.
- Riemann H. 2015. La cuenca del Nautla y la conservación de sus recursos naturales. En: Ruelas-Monjardín, L. C. y Travieso-Bello, A. C. (eds.). *Bases para la construcción de un modelo de gobernanza. La cuenca del río Nautla*. El Colegio de Veracruz/Editora de Gobierno del Estado de Veracruz, Xalapa, Veracruz, México.
- Röder, A., Pröpper, M., Stellmes, M., Schneibel, A. y Hill, J. 2015. Assessing urban growth and rural land use transformations in across-border situation in Northern Namibia and Southern Angola. *Land Use Policy*, 42:340-354.
- Romo-Lozano, J. L., García-Cruz, B., Uribe-Gómez, M. y Rodríguez-Trejo, D. A. 2012. Prospectiva financiera de los sistemas agroforestales de El Fortín, Municipio de Atzalan, Ver. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(1):43-55.
- Ruelas-Monjardín, L. C. y Martínez-Muñoz, H. 2013. Medio Físico. En: Ruelas-Monjardín, L. C. *et al. Diagnóstico para la planeación y el manejo integral de los recursos: El caso de la cuenca del río Nautla*. El Colegio de Veracruz, Instituto Tecnológico Superior de Xalapa y Juan Pablos Editor, México, D.F.
- Ruiz de la Merced, F., Gallardo, C., Quiroz R. y Porter-Bolland, L. 2013. La meliponicultura en el municipio de Atzalan, Ver. Un diagnóstico preliminar sobre el estado actual de la actividad y sus necesidades. INECOL. Xalapa, Veracruz. 27 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Capítulo 2. Vegetación y uso del suelo. *Informe de la situación del medio ambiente en México 2002*. 31-83. En: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/img/cap2.pdf Fecha de consulta 16 de abril de 2014.
- Travieso-Bello, A. C. y Álvarez-Espinosa, D. A. 2013. Grado de conservación de la cobertura vegetal: El caso de la cuenca del río Nautla, Veracruz. En: Ruelas-Monjardín, L. C. *et al.*



Diagnóstico para la planeación y el manejo integral de los recursos: El caso de la cuenca del río Nautla. El Colegio de Veracruz, Instituto Tecnológico Superior de Xalapa y Juan Pablos Editor, México, D.F.

- Turner, B. L., Villar, S. C., Foster, D., Geoghegan, J., Keys, E., Klepeis, P., Lawrence, D., Macario-Mendoza, P., Manson, S., Ogneva-Himmelberger, Y., Plotkin, A. B., Pérez-Salicrup, D., Chowdhury, R. R., Savitsky, B., Schneider, L., Schmook B. y Vance, C. 2001. Deforestation in the southern Yucatán peninsular region: An integrative approach. *Forest Ecology and Management*, 154(3):353-370.
- Verburg, P. H., y Veldkamp, A. 2004. Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales. *Landscape Ecology*, 19(1):77-98.
- Wilson, K., Newton, A., Echeverria, C., Weston, C. y Burgman, M. 2005. A vulnerability analysis of the temperate forests of south central Chile. *Biological Conservation*, 122(1):9-21.
- Yackulic, C. B., Fagan, M., Jain, M., Jina, A., Lim, Y., Marlier, M., Muscarella, R., Adame, P., DeFries, R., y Uriarte, M. 2011. Biophysical and socioeconomic factors associated with forest transitions at multiple spatial and temporal scales. *Ecology and Society*, 16(3):15.



Extenso ID: 274. Rafael Hernández-Guzmán^{a*}, Arturo Ruiz-Luna^b. DINÁMICA DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA Y USO DEL SUELO DE LA SUB-CUENCA DEL LAGO DE PÁTZCUARO, UTILIZANDO DATOS DE PERCEPCIÓN REMOTA.

[Regresar al índice](#)

^aCatedrático CONACYT - Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, C.P. 58330, Morelia, Michoacán, México
rhernandez.g@gmail.com

^bCentro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Coordinación Regional Mazatlán. Mazatlán, C.P. 82100, Sinaloa, México

RESUMEN

El presente trabajo analiza la dinámica de los cambios en la cobertura y uso de suelo en la sub-cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. Dadas las características ecológicas, esta sub-cuenca se considera una de las regiones más notables del estado, destacando por tener uno de los índices de naturalidad más altos en toda la cuenca Lerma-Chapala, además de poseer un nivel aceptable de volúmenes de disponibilidad de agua. Sin embargo, 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. Los mapas temáticos (1986, 2001, 2016) con siete clases de coberturas fueron derivados mediante clasificación supervisada de imágenes de satélite Landsat TM e información auxiliar. Para el mapa de uso de suelo de 2016, los resultados de la evaluación muestran una exactitud global de 92% y un coeficiente de Kappa de 0.9. Los resultados obtenidos sugieren que la cuenca del lago de Pátzcuaro es aún una zona rural no muy poblada, donde menos del 3% ($\approx 2,610$ ha) de su territorio corresponde a asentamientos humanos; alrededor del 30% ($\approx 36,600$ ha) es utilizado para la agricultura y un 15% de matorral, mientras que sólo el 10% lo ocupa el lago de Pátzcuaro. El resto (poco más del 40%) está conformado por vegetación natural. Los cambios más notables en el periodo analizado (1986-2016) incluyen un ligero incremento de la de esta última cobertura de alrededor de 3,500 ha, un incremento de la superficie ocupada por asentamientos humanos (1,300 ha) además de una reducción de 2,400 ha de la superficie del lago de Pátzcuaro. Se identificó la expansión de la vegetación natural a expensas de la cobertura agrícola, que como consecuencia del abandono de las tierras agrícolas, se ha promovido esta sucesión vegetal. A pesar de que ya se ha reportado para zonas aledañas, estas tendencias deberán verificarse en campo y enriquecerse los resultados con otras técnicas como el monitoreo en campo.

Palabras clave: *cambios de uso de suelo, cuenca del lago de Pátzcuaro, Percepción remota.*

1 INTRODUCCIÓN

La cobertura y uso del terreno son dos elementos clave que describen el ambiente terrestre tanto en relación a procesos naturales como a actividades humanas. La cobertura del terreno se refiere a



objetos localizados en la superficie del planeta que son de origen natural o antropogénico. En contraste, el uso del terreno se refiere a objetos que representan las actividades humanas que resultan en la producción de bienes y servicios para la sociedad ([Mendoza et al., 2011](#)). En décadas recientes, la investigación sobre esta temática se ha convertido en un aspecto importante en estudios de calentamiento global.

Los cambios en la cobertura y uso del terreno son un factor importante del cambio global debido a sus interacciones con el clima, los procesos ecosistémicos, los ciclos biogeoquímicos, la biodiversidad, y de manera más importante, las actividades humanas ([Aguilar et al., 2003](#)). Por lo tanto, para un área de estudio dada, es importante entender la relación e interacción de procesos que resultan en la conversión de hábitats naturales a ambientes humanamente antropizados, y viceversa ([Mendoza et al., 2011](#)). En este sentido, el análisis de los cambios en la cobertura y uso del terreno proporciona una herramienta para evaluar los cambios en el ecosistema y sus implicaciones ambientales a diferentes escalas temporales y espaciales ([López et al., 2001](#)). A pesar del reconocimiento de su importancia aunado al progreso hecho en la caracterización de cambios en el paisaje con datos provenientes de observaciones satelitales, datos cuantitativos que describan dónde, cuándo y cómo ocurren estos cambios a menudo son incompletos e inexactos. Lo anterior, sólo puede lograrse con ayuda de la Percepción Remota (PR).

Debido a que la PR proporciona conjuntos de datos espacialmente consistentes que cubren grandes áreas con alto detalle espacial y alta frecuencia temporal ([Xiao et al., 2006](#); [Hernández, 2011](#)); datos obtenidos por percepción remota han sido ampliamente utilizados en estudios de detección de cambio a nivel de paisaje ([Ruiz-Luna y Berlanga Robles, 1999](#); [2003](#); [Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2002](#); [Alonso Pérez et al., 2003](#); [Hernández-Guzmán et al., 2008](#)). En término de manejo de cuencas, es de particular importancia entender cómo los procesos en la cobertura y uso del terreno cambian sobre el tiempo, dado que están vinculados y por lo tanto afectan la dinámica hidrológica. Además, a pesar de que los principios, conceptos y enfoques relacionados con la gestión de cuencas hidrográficas ha experimentado importantes avances en años recientes, no hay una metodología universal para lograr un manejo efectivo de las cuencas ([Mendoza et al., 2011](#)).

Bajo esa perspectiva, se presentan los resultados de un estudio realizado en la sub-cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, para el que se realizó un análisis espacial de los cambios del paisaje de los últimos 30 años (1986-2016) aplicando técnicas de percepción remota e información auxiliar. El objetivo principal fue identificar las coberturas y usos del terreno en tres periodos de tiempo entre 1986 y 2016 así como cuantificar sus cambios.

2 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada entre las coordenadas extremas UTM 195000, 2186000 y 245000, 2150000 de la zona 14 norte del sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) y

corresponde a la sub-cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México, con una superficie de aproximadamente 934 km², de los de los cuales unos 818 km² corresponden a la porción terrestre (área de captación) y 116 km² al espejo del lago, incluyendo las islas (Bernal-Brooks *et al.*, 2002). La sub-cuenca es considerada una de las regiones más notables del estado, destacando por tener uno de los índices de naturalidad más altos en toda la cuenca Lerma-Chapala, además de poseer un nivel aceptable de volúmenes de disponibilidad de agua. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano; la temperatura media anual varía de 14 a 20 °C y presenta una precipitación anual que varía de 700 a 1400 mm; el escurrimiento natural medio anual se ha estimado en 152 hm³ y la evapotranspiración de 800 mm. Entre los principales asentamientos poblacionales destacan Pátzcuaro, Quiroga, Tzintzuntzan, Erongarícuaro, Santa Fé y San Francisco Pichátaro (figura 1). La cobertura vegetal está compuesta por varias especies de pinos, encinos y oyameles. Los principales usos del terreno son agricultura de temporal y pastoreo de ganado.

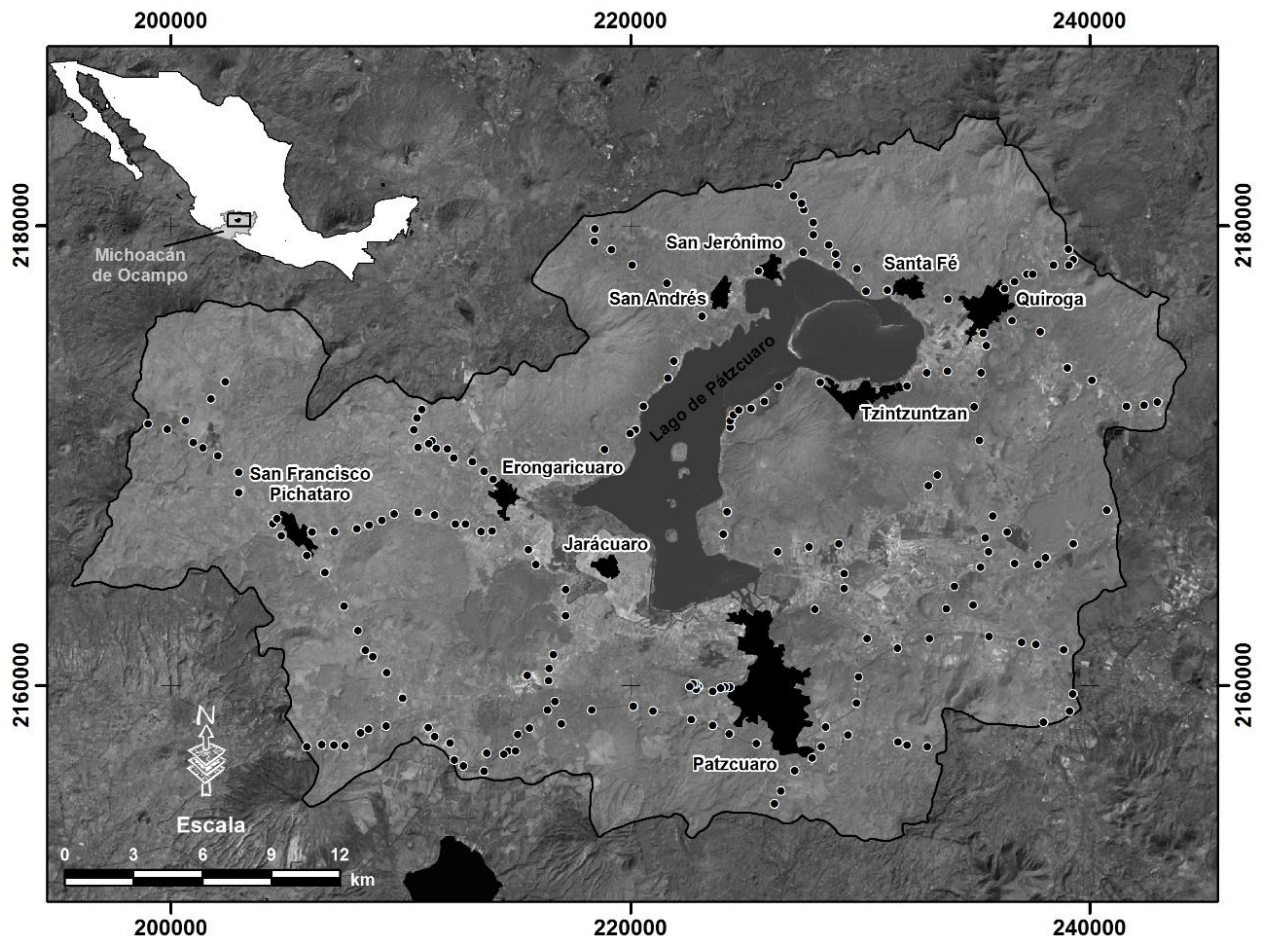


Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio. Coordenadas UTM Zona 14 Norte. Los puntos negros en la escena representan los puntos de GPS recolectados.



3 MATERIAL Y MÉTODOS

Las imágenes Landsat del sensor Thematic Mapper 5 (Path-Row: 28-46) de 1986 y 2001 y del sensor OLI 8 (Operational Land Imager) de 2016 fueron utilizadas para analizar los cambios en el paisaje de la cuenca del lago de Pátzcuaro. Todas las escenas fueron registradas en la época de secas (entre febrero y abril). Los límites de la cuenca RH12Ga L. Pátzcuaro fueron descargados del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). El área de la sub-cuenca fue aislada de cada una de las bandas en todas las escenas utilizando una máscara producida por la rasterización del vector descargado. Con el objetivo de mejorar los resultados de la clasificación, se incorporó información auxiliar como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI; [Rouse *et al.*, 1974](#)); el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI; [McFeeters, 1996](#)), y un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con la misma resolución que las imágenes de satélite (30 m de tamaño de pixel).

Las escenas fueron clasificadas de manera independiente, utilizando técnicas de clasificación supervisada utilizando el algoritmo de Máxima Verosimilitud. Para propósitos del presente estudio, se seleccionaron siete clases de cobertura y usos del terreno para la clasificación de las imágenes; Superficies acuáticas (SA), Matorral (MAT), Agricultura (AG), Vegetación natural (VN), Suelos expuestos (SE), Vegetación y Flora Acuática (VF) y Poblados (PO). Esta última clase fue digitalizada a partir de composiciones en falso color de la imagen TM 5 (1986, 2001) y OLI 8 (2016) y posteriormente agregada al mapa temático final.

Para evaluar la exactitud, se construyó una matriz de error utilizando los resultados de la clasificación, contrastándolos con datos de referencia registrados en el área de estudio con la ayuda de un GPS Garmin Montana 680. La clasificación del 2016 fue la única para la que se evaluó la exactitud debido a que sólo para esta fecha hubo disponibles datos de campo. Los resultados de las clasificaciones fueron aceptables una vez que la exactitud alcanzó valores mínimos de 80%, evaluados por medio de la exactitud global y un estimador del coeficiente de Kappa (K), a partir de la matriz de error. Además de los anteriores indicadores de la exactitud de la clasificación, también se estimó la exactitud del Productor (EP) y del Usuario (EU) a partir de este arreglo numérico ([Congalton y Green, 2009](#)).

Finalmente se estimó el área cubierta por cada una de las categorías mencionadas y se analizaron los cambios en la cobertura y uso del terreno en los tres periodos; 1986-2001, 2001-2016, y 1986-2016 ([Hernández-Guzmán *et al.*, 2008](#); [Hernández, 2011](#)). El análisis se realizó por medio del software de procesamiento de imágenes Idrisi en su versión TerrSet (Clark Labs).

4 RESULTADOS

La matriz de error e índices de exactitud para el mapa temático del 2016 basada en 163 puntos de control se muestra en la [tabla 1](#). Este mapa temático se produjo con una exactitud global de 92% y un coeficiente de Kappa de 0.90. En términos de exactitudes de productor y de usuario, todas las clases estuvieron por arriba del 80% por lo que todas las categorías fueron clasificadas de manera aceptable. Dada la ausencia de datos de referencia para evaluar la exactitud de la clasificación de 1986 y 2001, se asume un nivel similar al del mapa temático del 2016, considerando que el proceso fue el mismo para las tres fechas.

Tabla 1. Matriz de error para la estimación de la exactitud global (92%) y del valor del coeficiente de Kappa (0.9) en la clasificación de la imagen Landsat OLI (2016).

Coberturas	Datos de Referencia						Suma	Exactitud del Usuario
	SA	VF	MAT	VN	SE	AG		
Sup. Acuáticas (SA)	20	0	0	0	0	0	20	1.00
Veg. y Flora acuá. (VF)	0	9	0	0	0	0	9	1.00
Matorral (MAT)	0	0	33		2	0	35	0.94
Veg. Natural (VN)	0	1	0	39	1	0	41	0.95
Suelo Expuesto (SE)	0	1	6	1	37	0	45	0.82
Agricultura (AG)	0	0	1	0	0	12	13	0.92
Suma	20	11	40	40	40	12	163	
Exactitud del Productor	1.00	0.82	0.83	0.98	0.93	1.00		

Se estimó el área cubierta por cada una de las categorías, que en total cubren aproximadamente 94,000 ha ([tabla 2](#)). Los resultados obtenidos sugieren que la cuenca del lago de Pátzcuaro es aún una zona rural no muy poblada, donde menos del 3% ($\approx 2,610$ ha) de su territorio corresponde a asentamientos humanos; alrededor del 30% ($\approx 36,600$ ha) es utilizado para la agricultura (clases Suelo expuesto y Agricultura) y un 15% de matorral, mientras que sólo el 10% lo ocupa el lago de Pátzcuaro. El resto (poco más del 40%) está conformado por vegetación natural, principalmente distribuida en la parte media y alta de la sub-cuenca ([figura 2](#)).

Tabla 2. Superficie en hectáreas y tendencias de cambio de las coberturas y uso del terreno de la sub-cuenca del Lago de Pátzcuaro.

Cobertura	Área			Variación		
	1986	2001	2016	1986-2001	2001-2016	1986-2016
Sup. acuática	9732	7500	7330	-2232	-169	-2401
Matorral	15157	16843	13829	1687	-3014	-1328
Veg. natural	36347	40076	39851	3728	-225	3503
Agricultura	1851	2360	2877	508	518	1026
Poblados	1318	1931	2612	613	681	1294
Suelo expuesto	27293	23541	25617	-3752	2076	-1676
Veg. y flora acuática	868	1307	1440	438	134	572

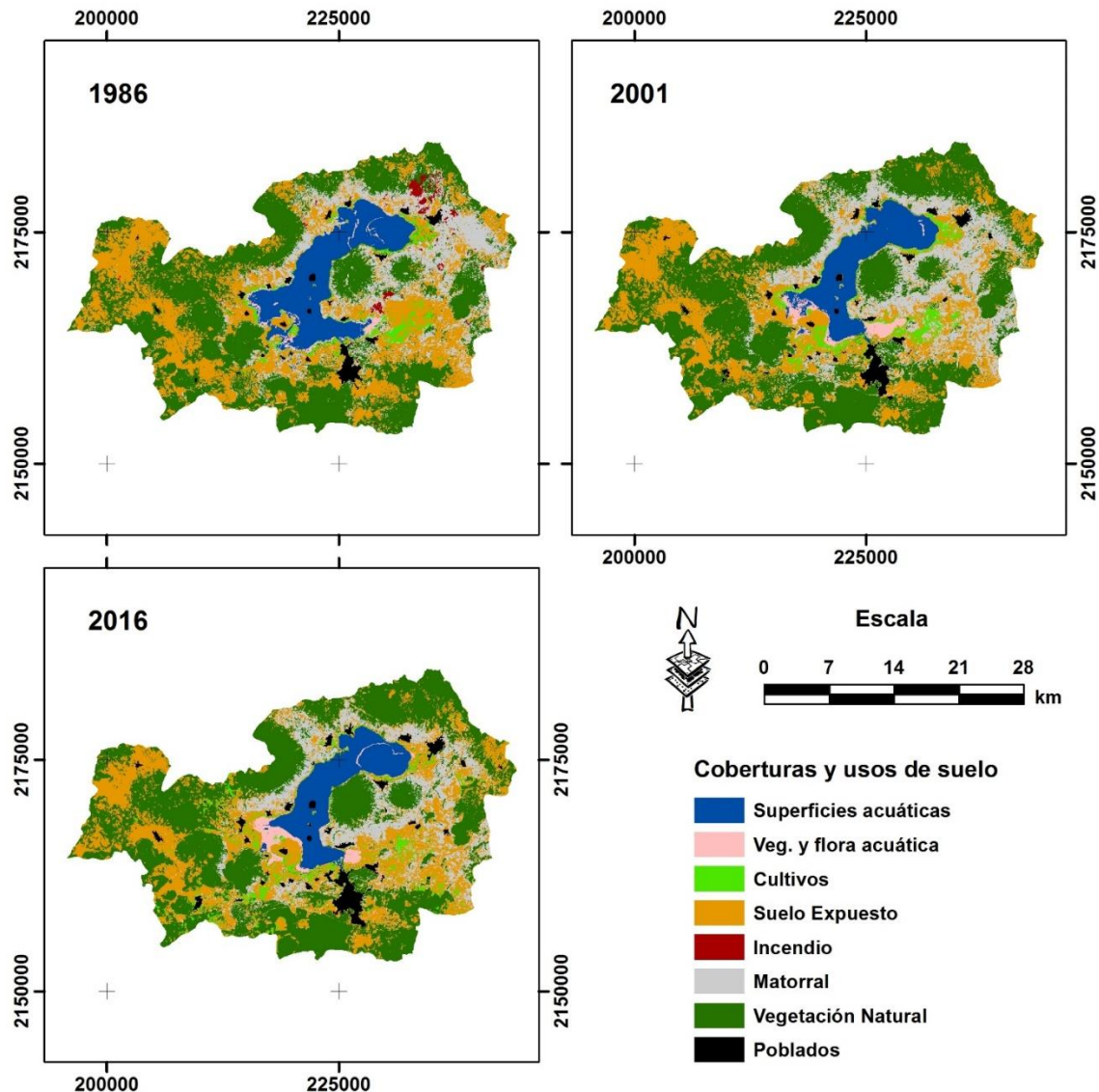


Figura 2. Coberturas y usos del terreno de la cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México a partir de clasificación de imágenes de satélite Landsat (1986-2016).

Partiendo de la primera fecha analizada (1986), el cambio más drástico observado con respecto a la clasificación de 2001 fue el aumento de la vegetación natural por 3,700 ha aproximadamente, así como una disminución de la misma magnitud de la cobertura Suelo expuesto. Es importante mencionar que la clase informacional Incendio, sólo se presentó en la clasificación de 1986. Para el periodo 2001-2016, la [tabla 2](#) muestra una pérdida de alrededor de 3014 ha de la clase Matorral, y un ligero incremento de la clase Suelo expuesto de alrededor de 2070 ha. Finalmente, los cambios más notables en el periodo analizado (1986-2016) incluyen un ligero incremento de la vegetación



natural de alrededor de 3,500 ha, un incremento de la superficie ocupada por asentamientos humanos (1,300 ha) además de una reducción de 2,400 ha de la superficie del lago de Pátzcuaro (figura 2).

5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los mapas temáticos derivados de datos de percepción remota son utilizados en muchas aplicaciones, que incluye desde la utilización como parámetros de entrada a otros modelos hasta ser las bases de análisis de políticas públicas. Las medidas de la confiabilidad del mapa temático son necesarias para que el usuario final evalúe la idoneidad de los datos para una aplicación particular; además, la exactitud de ese mapa temático puede afectar significativamente los resultados de esa aplicación (Powell *et al.*, 2004). Considerando lo anterior y asumiendo que los resultados obtenidos corresponden a una alta concordancia entre la clasificación y los datos de referencia, se califica de casi perfecta según la clasificación de Landis y Koch (1977).

El paisaje de la cuenca del Lago de Pátzcuaro puede caracterizarse como un paisaje dominado por coberturas naturales, con predominancia de la clase vegetación natural, que agrupa principalmente bosques de pino, encino y oyamel. Dentro de este paisaje de aproximadamente 94,000 ha, los humedales lacustres han mantenido su disminución en extensión durante el periodo analizado (1986-2016), representando poco menos del 10% de la superficie total, si bien a nivel de clase se ha manifestado una importante dinámica, particularmente para la superficie del espejo de agua (lago de Pátzcuaro) que manifiestan reducción de área, principalmente asociada a la continua llegada de azolves de las laderas deforestadas, lo que se manifiesta también en cambios en la vegetación de las orillas del lago (Vargas y Guzmán-Ramírez, 2009). En este aspecto, Huerto-Delgadillo y Amador-García (2001) mediante la fotointerpretación de escenas SPOT del 2008, reporta 18.58 km² de hidrófitas, en contraste con los 14.4 km² registrados en 2016 en el presente estudio, utilizando técnicas de clasificación supervisada de imágenes Landsat.

A diferencia de lo observado en otras regiones del país donde el principal modificador del paisaje ha sido el crecimiento de la agricultura (Ruiz-Luna y Berlanga-Robles, 1999; 2003; Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2002; Alonso-Perez *et al.*, 2003), en el presente trabajo y de acuerdo a lo reportado por Amador-García y Huerto-Delgadillo (2011) quienes hacen un análisis multicriterio y proyecciones marcovianas del cambio de uso del terreno en la cuenca objeto de estudio, coincidimos que la superficie agrícola sufre relativamente pocos cambios con tendencia al incremento. Los asentamientos humanos han tenido un constante crecimiento desde el inicio del periodo analizado. La vegetación natural (relativa principalmente a bosque y bosque secundario) fluctúa muy probablemente obedeciendo a destrucciones por incendios y sequías, así como por su contraparte en los recientes esfuerzos por recuperación de la cuenca.



El presente análisis basado en el uso de datos de satélite e información auxiliar identificó la expansión de la vegetación natural a expensas de la cobertura agrícola que, como consecuencia del abandono de las tierras agrícolas, se ha promovido esta sucesión vegetal. Aunque ya se ha reportado para zonas aledañas, estas tendencias deberán verificarse en campo y enriquecerse los resultados con otras técnicas como el monitoreo en campo.

A pesar de ser una de zonas que ha sido muy estudiada a diferentes escalas espaciales y temporales y utilizando diferentes enfoques; el enfoque aquí empleado es un método económico que por su capacidad para analizar fenómenos a diversas escalas temporales y espaciales, permite el monitoreo y verificación de las tendencias en el corto plazo. Esta capacidad de las aplicaciones de la Percepción Remota en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica resulta de suma utilidad para la generación de propuestas de manejo y líneas de acción específicas, con base en la regionalización que permite generar este tipo de modelos, para que puedan ser incluidas en futuras tomas de decisiones para la planeación del uso del terreno a nivel local e incluso regional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Proyecto de Cátedras No. 148) por el apoyo otorgado al autor de correspondencia.

REFERENCIAS

- Aguilar, A.G., Ward, P.M. y C.B., Smith, Sr. 2003. Globalization, regional development, and mega-city expansion in Latin America: Analyzing Mexico City's peri-urban hinterland. *Cities*, 20(1): 3-21. DOI: S0264-2751(02)00092-6
- Alonso-Pérez, F., A. Ruiz-Luna, J. Turner, C. A. Berlanga-Robles y G. Mitchelson-Jacob. 2003. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 46(6-7): 583-600. DOI: 10.1016/S0964-5691(03)00036-X
- Amador-García, A. y R.I., Huerto-Delgadillo. 2011. Análisis multicriterio de naturalidad de embalse y proyecciones markovianas del cambio de uso del suelo: elementos para la planeación de obras y acciones de restauración en la cuenca de Pátzcuaro. En: Huerto-Delgadillo, R. (ed.). 2011. Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro: aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 304 p.



- Berlanga-Robles, C.A. y A. Ruiz-Luna. 2002. Land Use Mapping and Change Detection in the Coastal Zone of Northwest Mexico Using Remote Sensing Techniques. *Journal of Coastal Research*, 18(3):514-522.
- Bernal-Brooks, F.W., Gómez-Tagle, R.A. y J. Alcocer. 2002. Lake Paztcuaro (Mexico): A controversy about the ecosystem water regime approached by field references, climatic variables, and GIS. *Hydrobiologia*, 467(1): 187-197. DOI:10.1023/A:1014919032228
- Congalton, R.G. y K. Green. 2009. Assessing the accuracy of remote sensed data: Principles and practices – Second Edition. CRC Press, Boca Raton, Florida 183 pp.
- Hernández-Guzmán, R., Ruiz-Luna, A. y C.A. Berlanga-Robles. 2008. Assessment of runoff response to landscape changes in the San Pedro subbasin (Nayarit, Mexico) using remote sensing data and GIS. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 43 (12): 1471-1482.
- Hernández, G.R. 2011. Determinación de los requerimientos de agua para la conservación y mantenimiento de los humedales costeros de la sub-cuenca río San Pedro. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Doctorado. 126 pp.
- Huerto-Delgadillo, R.I. y A. Amador-García. 2011. Evaluación y análisis de la vegetación acuática y bases para su control. En: Huerto-Delgadillo, R. (ed.). 2011. Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro: aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 304 p.
- Jensen, J.R., Cowen, D.J., Althausen, J.D., Narumalani, S. y O. Weatherbee. 1998. An evaluation of coastwatch change detection protocol in South Carolina. In Lunetta, S., Elvidge, C. D. (Eds.). Remote sensing change detection. Environmental monitoring methods and applications. Ann Arbor Press, USA, pp. 75-88.
- Landis, J.R. y G.G. Koch. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1): 159-174. DOI: 10.2307/2529310
- López, E., Bocco, G., Mendoza, M., y E., Duhau. 2001. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 55: 271-285. DOI:10.1016/S0169-2046(01)00160-8
- McFeeters, S.K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7): 1425-1432. DOI: 10.1080/01431169608948714
- Mendoza, M.E., López-Granados, E., Geneletti, D., Pérez-Salicrup, R. y V. Salinas. 2011. Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975 - 2003). *Applied Geography*, 31: 237-250. DOI:10.1016/j.apgeog.2010.05.010
- Powell, R.L., Matzke, N., de Souza, C. Jr., Clark, M., Numata, I., Hess, L.L. y D.A. Roberts. 2004. Sources or error in accuracy assessment of thematic land-cover maps in the



- Brazilian Amazon. Remote Sensing of Environment, 90: 221-234.
DOI:10.1016/j.rse.2003.12.007
- Rouse, J.W.Jr., Haas, R.H., Schell, J.A. y Deering, D.W. 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium. NASA, Washington, D.C., 1974, p.309
 - Ruiz-Luna, A. y C. A. Berlanga-Robles. 1999. Modifications in coverage patterns and land use around the Huizache-Caimanero lagoon system, Sinaloa, Mexico: A Multitemporal analysis using LANDSAT images. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 49(1): 37-44. DOI:10.1006/ecss.1999.0489
 - Ruiz-Luna, A. y C.A. Berlanga-Robles. 2003. Land use, land cover changes and coastal lagoon surface reduction associated with urban growth in northwest Mexico. Landscape Ecology, 18(2): 159-171. DOI:10.1023/A:1024461215456
 - Vargas, S. y N.B., Guzmán Ramírez. 2009. Deterioro de la cuenca del lago de Pátzcuaro cambios en la identidad étnica p'urhépech. XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. VIII Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires. Asociación Latinoamericana de Sociología, Buenos Aires.
 - Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R., Tang, C., Liang, Y. y Z. Huang. 2006. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and Remote Sensing. Landscape and Urban Planning, 75: 69-80. DOI:10.1016/j.landurbplan.2004.12.005



Extenso ID: 298. Jannette Karina Campos Vara¹, Salvador Adame Martínez², Bruce Hunter³, Edel G. Cadena Vargas⁴, Mario R. Martínez Menez⁵. LA CUENCA DEL VALLE DE TOLUCA, UN ANÁLISIS DE 40 AÑOS DE CAMBIOS DE USOS DE SUELO Y SU INFLUENCIA EN LA DEGRADACIÓN DE SUELO Y CALIDAD DEL AGUA

[Regresar al índice](#)

¹UAEMex, Facultad de Química, Paseo Tollocan esq/Paseo Colón, Toluca Mex., Maestría en Ciencias Ambientales, jannycav@gmail.com

²UAEMex, Facultad de Planeación Urbana y Regional, Mariano Matamoros casi/esq Paseo Tollocan, Toluca, Mex., adame_ms@yahoo.com

³University of North Texas, Instituto de Ciencias Ambientales, Denton, Texas

⁴Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía, Pase Vicente Guerrero, Cerro Coatepec

⁵Colegio de Posgraduados, Campus Montecillos Texcoco, Departamento de Hidrociencias

RESUMEN

El Instituto Mundial de Recursos, ha reportado que los cambios de uso de suelo, se dan más rápido que nunca y están modificando el paisaje a gran escala (WRI; UNEP; UNDP; 1998), la mayoría de estas alteraciones derivan de las demandas sociales sobre los recursos agua y suelo. (ONU, 2000) La reciente accesibilidad y disminución de costos, hace factible el uso de imágenes satelitales vía Sistemas de Información Geográfica para la integración de datos georreferenciados sobre recursos naturales con otros factores como los socioeconómicos. El estudio realizado muestra como los cambios de uso de suelo en la cuenca del Valle de Toluca, son un factor determinante para la degradación del suelo y agua. Mediante el uso del software ERDAS imagine e imágenes de satélite LANDSAT de diferentes periodos (1975, 1990, 2000, 2010, 2015) se analizaron mediante la técnica de clasificación no supervisada, los cambios de 40 años en los patrones de uso de suelo de la cuenca del Valle de Toluca.

Los resultados del análisis muestran las tendencias de uso de suelo en la cuenca, las modificaciones más notables se han dado en dos de las categorías usadas para la clasificación, la cobertura urbana mostró importantes incrementos, mientras que los usos agrícolas dejaron ver una marcada ganancia de territorio por extensión de la frontera agrícola y pérdidas por avance de la mancha urbana, es notoria también la disminución del tamaño en los cuerpos de agua y el incremento de zonas de suelo desnudo.

Los resultados muestran las pautas para enfocar las políticas de conservación con base en la priorización de los sitios de atención, según su vulnerabilidad y las tendencias que se revelan de acuerdo con los patrones de cambio de uso de suelo.

Palabras clave: SIG, cambio, suelo, degradación

1. INTRODUCCIÓN



El Centro Internacional de Referencias del Suelo (2016), (ISRIC, por sus siglas en inglés) reporta que la degradación de suelos afecta alrededor de 2 billones de hectáreas y que las zonas con problemas más severos de degradación se dan por la competencia entre la agricultura y otros usos de suelos, a su vez, la ONU (2000) afirma que la degradación de suelos altera el régimen hídrico, la recarga de acuíferos y tiene una alta incidencia en las inundaciones, la disponibilidad de agua y por tanto la calidad de la misma. (Graff, J., 2007)

La zona central de México es conocida por la alta densidad de población que presenta, lo que implica mayor presión sobre los recursos disponibles.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El río Lerma, considerado como uno de los más largos que cruza el interior del país, atraviesa por varios estados, surge en el Estado de México, zona que representa la parte alta de su cuenca y es donde se localiza la mayor parte de lo que se conoce como el valle de la ciudad Toluca, vecino de la Ciudad de México y parte de la región de expansión metropolitana.

Se usaron imágenes LANDSAT de los años 1975, 1990, 2000, 2010, 2015, se obtuvieron las imágenes de la plataforma USGS por la accesibilidad de las mismas y disponibilidad de información para el periodo de estudio. Cabe aclarar que se usaron dos imágenes en cada uno de los años como se explica en la tabla 1.

Tabla 1. Datos de las imágenes usadas para la investigación

Año	1975	1990	2000	2010	2015
Sección	Norte	Este	Este	Este	Este
	Sur	Oeste	Noreste	Oeste	Oeste
			Sureste		

Fuente: Elaboración propia

Se eligieron 6 categorías de uso de suelo que dada la resolución de las imágenes de satélite, pudiesen ser sujeto de clasificación para el software ERDAS Imagine 2014 y que a su vez permitieran la visualización de los cambios conforme el paso del tiempo.

Tabla 2. Categorías de análisis para la clasificación no supervisada

Categoría de suelo	Valor asignado
Bosques	1
Cuerpos de agua	2
Pastizales	3
Superficie agrícola	4
Suelo desnudo	5

Cobertura Urbana	6
------------------	---

Fuente: Elaboración propia

Cada sección de la cuenca se trabajó por separado acorde con el proceso mostrado en la figura 1 es importante aclarar que cada uno de los pasos del proceso general, se llevó a cabo al menos 15 veces por cada sección de la cuenca y por cada año de estudio, posteriormente se hicieron agrupaciones por mosaicos para obtener la imagen completa de la cuenca por año.

Figura 1. Secuencia del procesamiento de las imágenes de satélite



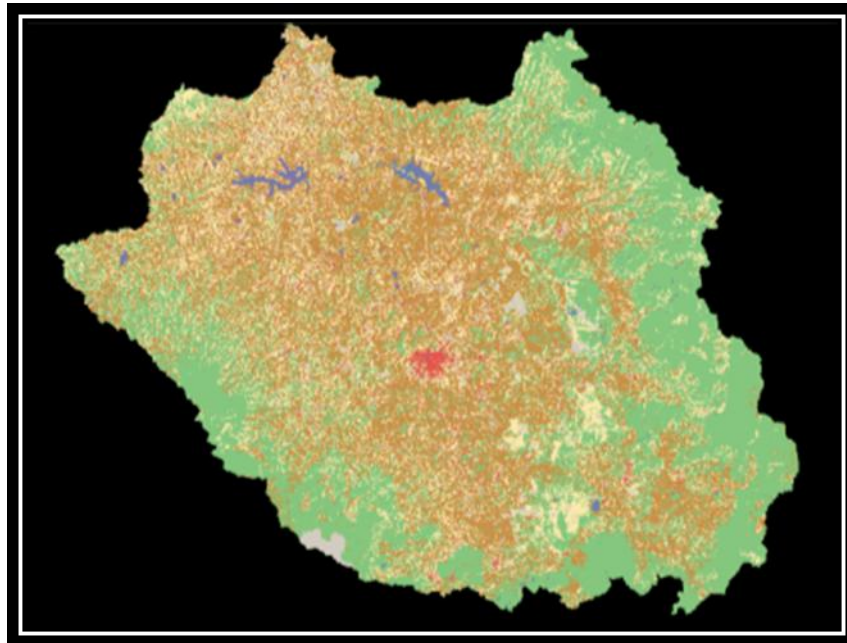
Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS

Los resultados del análisis muestran las tendencias de uso de suelo en la cuenca, las modificaciones más notables se han dado en dos de las categorías usadas para la clasificación, la cobertura urbana mostró importantes incrementos, mientras que los usos agrícolas dejaron ver una marcada ganancia de territorio por extensión de la frontera agrícola y pérdidas por avance de la mancha urbana, es notoria también la disminución del tamaño en los cuerpos de agua y el incremento de zonas de suelo desnudo.

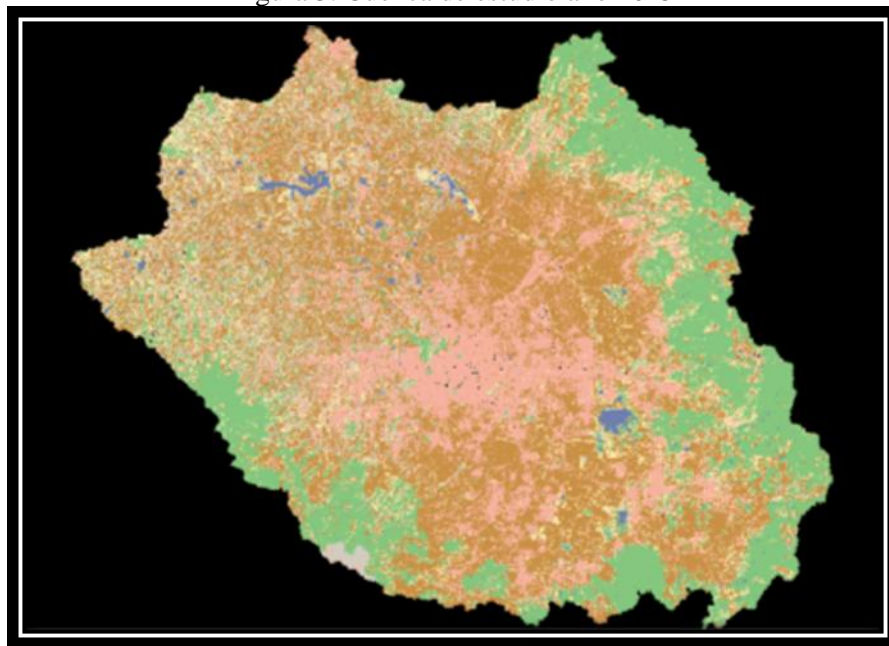
El análisis visual, permite observar diferencias significativas entre 1975 y 2015 (figuras 2, 3 y 4)

Figura 2. Cuenca de estudio año 1975



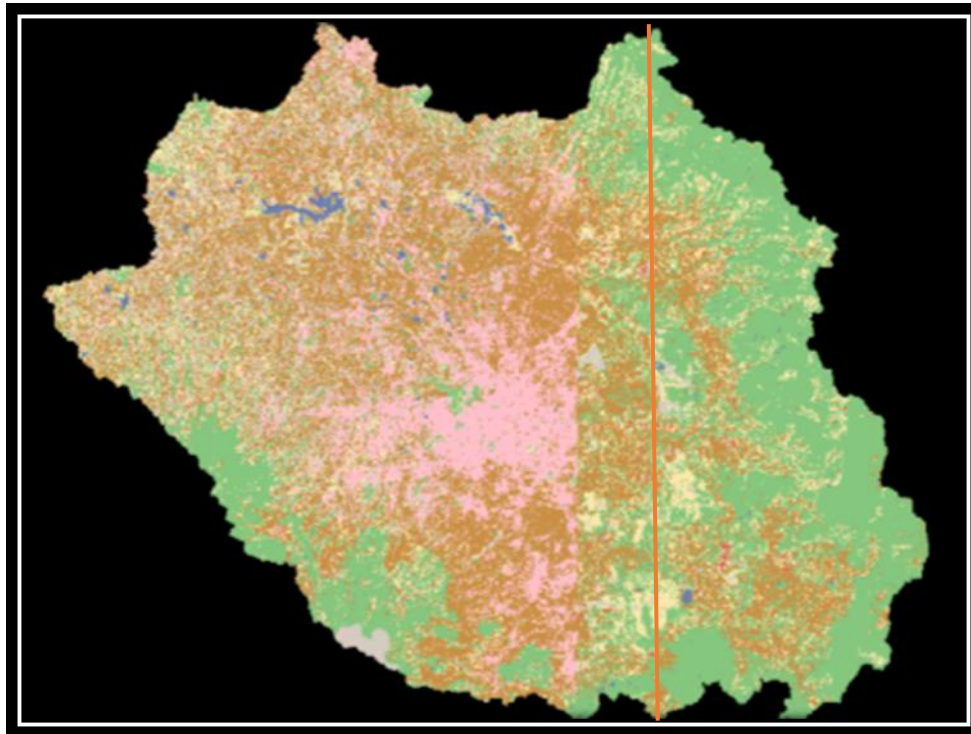
Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Cuenca de estudio año 2015



Fuente: Elaboración propia

Figura. 4. Comparativo visual de cambios en la cuenca, derecha 2015, izquierda 1975



Fuente: Elaboración propia

Los datos cuantitativos del análisis (ver figura 5) corroboran las interpretaciones visuales de las imágenes obtenidas después del procesamiento, la reducción de la superficie boscosa, de pastizales, de cuerpos de agua y el incremento de zonas agrícolas, suelo desnudo y cobertura urbana denotan los cambios que ha sufrido la cuenca durante 40 años.

Figura 5. Cambios en las superficies por categoría de los años extremos del análisis



Fuente: Elaboración propia

Los cambios que la cuenca experimentó en menos de medio siglo, son resultado de actividades humanas:

1. La disminución de la superficie boscosa como resultado del incremento de la superficie agrícola denota la competencia de las actividades agrícolas con respecto a otros usos.



2. El cambio desmesurado de la cobertura urbana, cabe mencionar que todas las categorías, ésta es la que mayores aumentos presento, ampliando su extensión en un 599%.
3. Al vincular el incremento de suelo desnudo con respecto a la reducción de los cuerpos de agua, se puede ver que la erosión está afectando la calidad del agua por procesos de sedimentación y depositación.
4. El incremento de las áreas de pastizales refleja la susceptibilidad de la cuenca, estas superficies que ahora son pastizales, son las más propensas a convertirse próximamente en zonas agrícolas si se encuentran cercanas a las regiones boscosas o bien, en cobertura urbana si se localizan en las zonas que circundan la mancha urbana por el acelerado proceso de expansión.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados de éste análisis permiten comprender la dinámica del proceso de cambios de uso de suelo en una cuenca expuesta a altas demandas de recursos, por lo que partiendo de los datos obtenidos es factible corroborar que el uso de suelo es un factor determinante en la degradación de suelo, la calidad agua y disponibilidad de agua, así mismo el uso de herramientas como los Sistemas de Información geográfica facilitan el estudio de recursos naturales a nivel macro.

De acuerdo con el patrón de cambios que se observó en la cuenca, deben orientarse tanto las políticas de urbanización como las que van enfocadas a la atención del suelo y agua para evitar que la presión que sufre ésta unidad geográfica empeore la situación actual.

Dada la resolución de las imágenes usadas, aún debe reforzarse el análisis con estudios mucho más detallados, que permitan el establecimiento de acciones a nivel local.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de CONACYT para la estancia de investigación realizada en el Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad del Norte de Texas, a los investigadores de las diferentes adscripciones de la Universidad Autónoma del Estado de México y el Colegio de Posgraduados por su invaluable cooperación en el desarrollo de ésta investigación y la invaluable cooperación de los investigadores de la Universidad del Norte de Texas.

6. LITERATURA CITADA

- ISRIC (2016) available in <http://www.isric.org/> revised on May/27/2016
- Graff, J. (2007) Monitoring and evaluation of soil conservation and watershed development projects
- UN, United Nations, 2000: Integrated Planning and Management of land resources. Economic and Social Affairs, digital version available in <http://www.un.org/documents/ecosoc/cn17/2000/ecn172000-6.htm>, revised 10/24/2015
- Organización de Naciones Unidas (ONU), 2000: Integrated Planning and Management of land resources. Economic and Social Affairs, version digital disponible en: <http://www.un.org/documents/ecosoc/cn17/2000/ecn172000-6.htm>, revisado 10/24/2015

WRI; UNEP; UNDP; World Bank. (1998). World resources 1998-99: a guide to the global environmental change and human health. Washington, D.C.: The World



IV CONGRESO
NACIONAL

MANEJO DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/1998/01/442702/world-resources-1998-99-guide-global-environment-environmental-change-human-health> revisado en 01/02/2016