



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO 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](http://www.iv-congreso-cuencas.org)  
INFORMES: [congresocuencas@fogomex.org](mailto:congresocuencas@fogomex.org)

Logos of participating organizations: SEMARNAT, VERACRUZ GOBIERNO DEL ESTADO, SEDEMA, INECC, Global Water Watch, CONANF, CONAPO, INECOL, CONAGUA, XALAPA GOBIERNO DEL ESTADO, CMAS, FGM, PLADEVIA S.C., ETC. AGENCIA, and others.

## MEMORIAS EN EXTENSO DE PONENCIAS ORALES

SECCIÓN II DE III

27 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: 356. Samaria Armenta-Montero, Edward A. Ellis. MODELACIÓN DEL IMPACTO DE LA COBERTURA DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN SOBRE LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS EN LAS CUENCAS DEL RÍO TUXPAN Y COATZACOALCOS, MÉXICO .....	10
Extenso ID: 186. Rubén I. Huerto D.a, Alfredo Amador G.b, Carlos Mariano R. a ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE LA CUENCA DEL RÍO PUNTA DE AGUA A LA LAGUNA DE LAS GARZAS, MANZANILLO, COLIMA, .....	19
Extenso ID: 70. Adolfo López-Pérez <sup>a</sup> , Mario Roberto Martínez-Menes <sup>b</sup> . ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DE DRENAJE. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUEHUETÁN .....	34
Extenso ID: 192. Alfredo Amador García <sup>a</sup> , Yolotzin Martínez Ruíz <sup>b</sup> , Manuel E. Mendoza <sup>c</sup> . ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO ESPACIALMENTE DISTRIBUIDO CONSIDERANDO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN CUENCAS COSTERAS NO INSTRUMENTADAS DEL GOLFO DE MÉXICO .....	50
Extenso ID: 59. Silvia Chamizo-Checa <sup>a, b</sup> , Juan Suárez-Sánchez <sup>b</sup> , Alberto José Gordillo-Martínez <sup>a</sup> , César Abelardo González- Ramírez <sup>a</sup> , Luz María Hernández-Flores <sup>a</sup> , Elena María Otazo-Sánchez <sup>a</sup> . ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL Y FUTURA DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO, MÉXICO .....	63
Extenso ID: 168. M. Lourdes González-Arqueros <sup>a</sup> , Manuel E. Mendoza <sup>b</sup> . ESTIMACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA COMO FACTOR CLAVE EN EL MARCO DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....	72
Extenso ID: 36. Luis Balcázara, Khalidou m. Bâa, Gabriel Gaonab, Francisco Magaña-Hernándezc. MODELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO UTILIZANDO UN MODELO DISTRIBUIDO EN UNA CUENCA DE LOS ANDES DEL SUR DE ECUADOR .....	80
Extenso ID: 191. Alfredo Amador García <sup>aa</sup> , Manuel E. Mendozab. EVALUACIÓN DEL ESCURRIMIENTO NATURAL DE AGUA SUPERFICIAL CONFORME A LA NORMA NOM-011-CNA-2015 Y BALANCE HÍDRICO ESPACIALMENTE DISTRIBUIDO DE LAS CUENCAS DEL RÍO SANTIAGO-GUADALAJARA ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO .....	91
Extenso ID: 283. Iñiguez-Covarrubias Mauro <sup>1</sup> , Ojeda-Bustamante Waldo <sup>1</sup> , Díaz-Delgado Carlos <sup>2</sup> . TRES MÉTODOS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA LLUVIA Y LA SIMULACIÓN DEL ESCURRIMIENTO: RÍO JUCHIPILA, ZACATECAS, MÉXICO. ....	104
Extenso ID: 210. Guillermo Cardoso Landaa, María de Lourdes Isabel Ortégón Alvarb. METODOLOGÍA INTEGRADA DE INGENIERÍA DE RÍOS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS. CASO DE ESTUDIO: CUENCA RH20E.....	117





# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

Extenso ID: 276. Alvarez Guillermo Lizbeth y Gerardo Sánchez Torres Esqueda. MODELACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RIO LOS HULES CONSIDERANDO EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO. ....	130
Mesa 5. Políticas públicas, instrumentos de planeación y participación, y su articulación institucional. ....	49
Extenso ID: 41. Verhonica Zamudio Santos. PROBLEMAS DE LA REGULACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL DEL AGUA DESDE LOS CONSEJOS DE CUENCA .....	50
Extenso ID: 53. Cipriana Hernández Arce a, Sergio Vargas Velázquez b, Gemma Millán Malo c. LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO.....	57
Extenso ID: 55. Cesar Casianoa, Arturo Gleasonb, Vera Vikolainenc, Hans Bressersd. EVALUACIÓN DE LA GOBERNANZA: ANÁLISIS DE LA POLÍTICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ALTO BALSAS PUEBLA Y TLAXCALA.....	68
Extenso ID: 152. Sara L. Medrano Lucasl y Ana L. Burgos Tornadú2. PARTICIPACIÓN Y CAPITAL SOCIAL PARA EL MANEJO DE CUENCAS: EVALUACIÓN DE LOS CONSEJOS DE SEGURIDAD HÍDRICA EN EL BAJO BALSAS (MICHOACÁN).....	81
Extenso ID: 5. Mariana Villada Canela <sup>a</sup> , Mariana Achirica Acosta <sup>b</sup> . LA INTERFAZ CIENCIA-POLÍTICA EN LA GESTIÓN DEL AGUA EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.....	93
Extenso ID: 306. Sandra Giankarla Mercadante Lizárraga y Nicolás Pineda Pablos. EL CONSEJO DE CUENCAS DEL ALTO NOROESTE, UN MODELO DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.....	104
Extenso ID: 68. Tiburcio Sánchez Argelia y Argelia Tiburcio. LA EXPERIENCIA EN LA CONFORMACIÓN DE UN ORGANISMO DE CUENCA A PARTIR DE UN PROCESO JUDICIAL, EL CASO DE LA CUENCA MATANZA RIACHUELO.....	123
Extenso ID: 15. Fabián Leonardo MACÍASa. MICROCUENCAS COMO UNIDAD DE INTERVENCIÓN Y PLANEACIÓN AMBIENTAL EN ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA, DENTRO DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA: PROPUESTA DE ÁREA ESTATAL DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA .....	132
Extenso ID: 39. Esthela I. Sotelo Núñez <sup>a</sup> , María Luisa Cuevas Fernández <sup>b</sup> . PROPUESTA METODOLÓGICA PARA INCORPORAR EL ENFOQUE DE CUENCA EN EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO .....	146
Extenso ID: 218. Enrique A. Sánchez Camacho. UNA PROPUESTA PARA EL REORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RIO SONORA. ....	154
Mesa 6. Procesos sociales y culturales con relación al manejo de cuencas. ....	165
Extenso ID: 62. Denisse León, Dolores Molina, M. Azahara Mesa-Jurado, Denise Soares-Moraes.. EL PAPEL DE LA PERCEPCIÓN INDIVIDUAL Y SOCIAL SOBRE EL DERECHO HUMANO AL AGUA Y SANEAMIENTO EN LA GENERACIÓN DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN EN LA SUBCUENCA DEL RÍO ALMANDROS (TACOTALPA).....	166
Extenso ID: 364. Luis Alberto Bojórquez. FORTALECIMIENTO DEL CAPITAL SOCIAL EN LA FUTURA ANP MONTE MOJINO.....	178



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

Extenso ID: 179. Antonio Rangel Carrillo, María Susana Rocha Mier, Maribel Cervantes Cruz, Hugo Alberto Alamilla Tovar, Karina Guadalupe Polonio Rovira. EL RETO SOCIAL PARA EL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO AGROPECUARIO-FORESTAL SUSTENTABLE EN EL EJIDO MECAYAPAN.....	187
Extenso ID: 237. Karen Patricia de las Salas Carrillo, Tamara Guadalupe Osorno-Sánchez, Liliana González Erives. EL MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES, EL CASO DE LA MICROCUENCA BUENAVISTA, COMUNIDAD LA CARBONERA, QUERÉTARO. ....	188
Extenso ID: 109. Víctor Daniel Ávila-Akerberg, Tanya Marcela González-Martínez, Luis ángel López-Mathamba. BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS AMBIENTALES EN UNA CUENCA PERIURBANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO. ESTRATEGIAS DE VALORACIÓN ECONÓMICA, EDUCACIÓN AMBIENTAL, CONSERVACIÓN Y TURISMO RURAL. ....	198
Extenso ID: 342. Fernando Gumeta-Gómez, Elvira Durán Medina. ACCIÓN COLECTIVA LOCAL PARA LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO ATOYAC, OAXACA, MÉXICO .....	209
Palabras clave: .....	209
Extenso ID: 154. Humberto Macías Cuéllar, Mayra Mónica Hernández Moreno, Patricia Dolores Dávila Aranda, Leobardo Sánchez Paredes. MANEJO TERRITORIAL PARTICIPATIVO DE RECURSOS NATURALES EN UN EJIDO DE LA MIXTECA POBLANA.....	221
Extenso ID: 120. Carlos Robles Guadarrama y Alejandra Pacheco Mamone. SUBCOMITÉ DE CUENCA EN SANTA MARTA: UNA EXPERIENCIA DE GESTIÓN COMUNITARIA. ....	234
Extenso ID: 194. Alejandra Leal; Guadalupe Arreola; Raúl Vidales; Héctor Ulises Sánchez. IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE REDES SOCIALES PARA LA GESTIÓN DEL AGUA POR CUENCA: EL CASO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIQUITO, MORELIA, MICHOACÁN .	246
Extenso ID: 61. Úrsula Oswald Spring. MANEJO PARTICIPATIVO DE LA CUENCA DEL RÍO YAUTEPEC .....	258
Extenso ID: 69. Adriana Hernández. CAMBIOS URBANO- TURÍSTICOS Y RESISTENCIA EN EL TERRITORIO RIBEREÑO DE LA CUENCA DEL LAGO DE CHAPALA, JALISCO. ....	272
Extenso ID: 203. Patricia Ávila García. PUEBLOS INDÍGENAS Y BOSQUES FRENTE AL CAMBIO GLOBAL EN CUENCAS HIDROLÓGICAS DEL CENTRO Y OCCIDENTE DE MÉXICO .....	273
Extenso ID: 326. Gustavo Ortiz y Agustín Muñoz. TASAS DE CAMBIO DE LA VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO EN LA REGIÓN CAFETALERA XALAPA-COATEPEC DEL ESTADO DE VERACRUZ .....	275
Extenso ID: 161. Juan Luis Olvera Maldonado, César Rodríguez Trujillo, José Justo Mateo Sánchez, Felipe Neri Hernández Soto, Isaac Joaquín Méndez Manzano, Shari Magali Morales Marquez. COMPARACIÓN DE METODOS PARA ESTIMACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RIO TECOLUCLA. ....	276
Extenso ID: 255. Melchor Rodríguez Acosta, José Luís Herrera Téllez, Mirna I. López Triano, Félix Malpica Sánchez. CAUSAS, EFECTOS Y POSIBLES SOLUCIONES AL COMPORTAMIENTO EROSIVO DEL RÍO GAVILANES, EN LA CUENCA BOBOS-NAUTLA, VERACRUZ, MÉX. ....	281



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

Extenso ID: 175. Juan Ángel Tinoco Rueda, Iris Jetzabel Carrillo Negrete, Jesús David Gómez Díaz, Alejandro Ismael Monterroso Rivas. DEGRADACIÓN DE TIERRAS EN LA CUENCA JAMAPA CON PERSPECTIVAS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL .....	289
Extenso ID: 337. Juan Pablo García González, José Antonio De La Cruz Hernández. ANÁLISIS DE EFECTIVIDAD DE ZANJAS TRINCHERA PARA LA RESTAURACIÓN DE CUENCAS EN DOS EJIDOS FORESTALES DE LA CUENCA ALTA DEL CUTZAMALA, EN VILLA DE ALLENDE, MÉXICO. ....	295
Extenso ID: 64. Karen Velázquez Pedroza, Janette M. Murillo Jiménez, Enrique H. Nava Sánchez, Ana J. Marmolejo Rodríguez, Pedro Morales Puente. ARSÉNICO (AS) EN AGUA SUBTERRÁNEA DEL SUROESTE DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO .....	296
Agradecemos a la M en C. Carolina Muñoz Torres del Laboratorio de Geoquímica de Aguas del Centro de Geociencias Campus Juriquilla, UNAM, M en C. Víctor Carrasco Chávez del Laboratorio de Química Marina CICIMAR-IPN, Dr. Jobst Wurl de la UABCS, Dr. Arturo Cruz Falcón CIBNOR y al Proyecto BEIFI 20161201 IPN.....	306
Extenso ID: 6. Jorge Izurieta Dávila, Perla Alonso Eguía Lis, Yolanda Pica Granados, Pedro Rivera Ruíz, Gabriela Mantilla Morales, Antonio Ramírez González, Rubén Dario Hernández López. CONTAMINACIÓN EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO ATOYAC, OAXACA .....	309
Extenso ID: 330. Marco Antonio Mijangos Carro, Luis Alberto Bravo-Inclán, Rebeca González Villela, Mauricio Alba Uriostegui, Barry Michael Evans. ESTUDIO DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN PUNTUAL Y DIFUSA SUBCUENCA DEL LAGO DE TIXTLA, GUERRERO, MÉXICO .....	317
Extenso ID: 113. Rubén Hernandez-Morales, Ana Burgos, Margarita Alvarado-Bautista Y Rosaura Paez-Bistrain. CALIDAD DEL AGUA RURAL: CONDICION MICROBIOLOGICA EN FUENTES COMUNITARIAS DEL SISTEMA HIDROGRÁFICO BAJO BALSAS (MICHOACÁN MÉXICO) ..	329
Extenso ID: 300. Erika Grissel Ovando Gutiérrez, José Reyes Díaz Gallegosb, Miguel Ángel Sáenz De Rodrigáñez, A. USCANGA-Martínez. EVALUACIÓN DEL HÁBITAT DE LA TENGUAYACA PETENIA SPLENDIDA EN LA PRESA NEZAHUALCÓYOTL, MALPASO, CHIAPAS .....	339
Extenso ID: 23. Nayeli Heredia Vázquez y J.A. Aké Castillo. EVALUACIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN EL ESTUARIO DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA-COTAXTLA.....	355
Extenso ID: 65. José Ricardo Ortega Peña, Marisol Gallardo Ángeles. ORDENAMIENTO ACUÍCOLA EN LAS MICROCUENCAS TENANGO Y NUEVO NECAXA DENTRO DEL MUNICIPIO DE HUAUCHINANGO, PUEBLA.....	361
Extenso ID: 310. María Teresa Leal Ascencio, Itzel Rolón Rodríguez, Yolanda Cocotle Ronzón. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE BANDERILLA, VER., SOBRE EL PARQUE LINEAL QUETZALAPAN-SEDEÑO.....	362
Mesa 9. Riesgos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático con enfoque de cuenca.....	363
Extenso ID: 160. Wendy Morales Barrera, Sergio Rodríguez Elizarrarás. PELIGROS GEOLÓGICOS MÁS RECURRENTES EN LAS CUENCAS DEL ESTADO DE VERACRUZ Y SU IMPACTO. ....	364



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

Extenso ID: 212. Carlos López Badillo, Juan Cervantes Pérez y Néstor Martínez Galván. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO COLIPA A PARTIR DE LA INTERVENCIÓN DE “KARL” .....	365
Extenso ID: 262. Bartolo Cruz Romero, Fernanda Julia Gaspar, Fátima Maciel Carrillo González, Jorge Téllez López. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL Y ZONIFICACIÓN DE RIESGO DE EROSIÓN POR ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO CUALE, JALISCO, MÉXICO .....	373
Extenso ID: 28. Marcos Antonio López Hernández, Itzel Castro Mendoza, Elieen Salinas Cruz. DETERMINACIÓN DEL RIESGO A DESLIZAMIENTO DE LADERAS EN LA SUBCUENCA TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS .....	384
Extenso ID: 265. Anthony Philippe André Michel Bourbon, Juan Alfredo Hernández Guerrero. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR ESCURRIMIENTO HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA CAÑADA MENCHACA, QUERÉTARO. ....	399
Extenso ID: 24. John Day, Paul Kemp, Alejandro Yanez. CONTINENTAL SHELF RIVER PLUMES IN THE GULF OF MEXICO PROMOTE ECOLOGICAL RESILIENCE IN A TIME OF CLIMATE CHANGE .....	409
Extenso ID: 187. Lilia M. Gama Campillo, Eduardo Javier Moguel Ordoñez, Hilda Díaz López, Ricardo Collado Torres, , Coral Pacheco Figueroa, Mario A. Ortíz perez, Juan De Dios Valdez Leal, Ruth Del Carmen Luna Ruiz, Carolina Zequeira-Larios, Elias José Gordillo Chávez; Ena Mata Zayas, Maria Elena Macías Valadez, Luis José Rangel Ruiz. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN ANTE LA ELEVACIÓN MEDIA DEL NIVEL DEL MAR EN LA ZONA COSTERA DE TABASCO .....	410
Extenso ID: 14. David ORTEGA-Gaucin, Israel Velasco Velasco, Jesús De La Cruz Bartolón y Heidy Viviana Castellano Bahena. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD ANTE LA SEQUÍA EN LOS ORGANISMOS DE CUENCA EN MÉXICO .....	423
Extenso ID: 149. Israel Velasco, David Ortega; Jesús de la Cruz, Heidy Castellano. VULNERABILIDAD EN LA SEQUÍA: UN ENFOQUE DE SU DIMENSIONAMIENTO PARA AFRONTAR EL FENÓMENO EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO, MÉXICO.....	436
Extenso ID: 295. Turrén-Cruz, Thalía <sup>1</sup> , Benegas, L <sup>1</sup> , Gutierrez, I <sup>1</sup> , Ramirez, A <sup>2</sup> , Brenes, C <sup>1</sup> . EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ANTE EVENTOS CLIMÁTICOS EN EL MARCO DE LOS CAPITALES DE LA COMUNIDAD, EN BAJA CALIFORNIA SUR; MÉXICO.....	452
Extenso ID: 163. Wendy Morales Barrera, Ilse Espinosa Sosa. APLICACIÓN DEL MAPEO PARTICIPATIVO, PARA EL CONOCIMIENTO DE LOS RIESGOS NATURALES Y ANTROPOGÉNICOS EN LAS CUENCAS DE VERACRUZ.....	469



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: 356. Samaria Armenta-Montero, Edward A. Ellis. MODELACIÓN DEL IMPACTO DE LA COBERTURA DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN SOBRE LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS EN LAS CUENCAS DEL RÍO TUXPAN Y COATZACOALCOS, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Centro de investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana, Ex-Hacienda Lucas Martín, Priv. Araucarias, C.P. 91110, Xalapa, México: samaria.am@gmail.com; ellis\_eddie@yahoo.com

## RESUMEN

El estado de Veracruz por sus características de relieve, condiciones meteorológicas, la cantidad de ríos que fluyen a través de su territorio y los cambios en el paisaje, tiene como resultado una variabilidad del comportamiento hidrológico de sus cuencas. Las cuencas del Río Tuxpan y del Río Coatzacoalcos, históricamente se encuentran amenazadas por eventos de inundación y por el deterioro de la cobertura forestal. Con apoyo del modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool), los sistemas de información de geográfica y datos climatológicos, se analizaron ambas áreas. Dicho modelo relaciona las características del paisaje con los procesos hidrológicos y predice la funcionalidad en las cuencas. Se encontró que en las cuencas del Río Tuxpan y Río Coatzacoalcos, la precipitación y la presencia de cobertura forestal, son variables significantes que pueden modificar los patrones hidrológicos. Los resultados muestran que la cobertura forestal está relacionada con una mayor producción hídrica, menor escurrimiento superficial y, menor producción y transporte de sedimentos y de nitratos. En la Cuenca Tuxpan, el bosque mesófilo es el regulador de estos procesos; y en la Cuenca Coatzacoalcos es el componente selvático el ecosistema que juega el papel más relevante. Sin embargo, el cambio de uso de suelo para cultivos agrícolas y pastizales son las actividades antrópicas que mayor impacto tienen sobre el aumento de los escurrimientos y, la producción, transporte y concentración de sedimentos. Se recomienda establecer estrategias a través de los tomadores de decisiones y grupos organizados, que promueven la conservación, recuperación y rehabilitación de áreas boscosas, selváticas y acahuales que propicien el restablecimiento y regulación de los servicios hidrológicos de las cuencas de los ríos Tuxpan y Coatzacoalcos, esencialmente en la parte alta y media de las cuencas.

**Palabras clave:** cobertura de bosques, escorrentía, nitratos, sedimentos, Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe desequilibrio ecológico y del ciclo hidrológico en las cuencas, ocasionado principalmente por la deforestación, el cambio de uso de suelo de la cubierta forestal a áreas para uso agrícola y/o pecuaria, la tala inmoderada y degradación de los bosques, la sobreexplotación de los mantos acuíferos y el uso irracional de agroquímicos (Manson, 2004). El cambio de cobertura de vegetación y uso de suelo, aunado al cambio climático son los factores más influyentes sobre los recursos hídricos (Zhang *et al.*, 1999).

La captura del agua de la niebla en los bosques puede modificar los patrones de precipitación a través de la regulación del clima local y regional (Manson, 2004; Bruijnzeel, 2004; García-Chevesich, 2010). Los bosques también evitan la erosión del suelo, reducen el arrastre de sedimentos a los depósitos y disminuyen el peligro de deslaves e inundaciones (Brüschweiler *et al.*, 2004; Manson, 2004; García-Chevesich, 2010). Por lo tanto,



la eliminación de la cobertura forestal propicia deslaves, erosión, sedimentación y escurrimiento de nutrientes, y por consiguiente graves consecuencias sociales (Wunder, 2006).

No obstante, la deforestación de los bosques naturales en el trópico es la más acelerada con más de 10 millones de hectáreas perdidas anualmente (Shvidenko *et al.*, 2005). Como ejemplo de México, el estado de Veracruz, en el período de 1990 a 2000 presentó una pérdida de vegetación forestal de 4,8% anual (Ellis *et al.*, 2011), tan sólo de 1984 al 2000 se perdieron el 36% de su cobertura boscosa (Manson, 2004). Actualmente, Veracruz se ubica en primer lugar nacional de transformación de su vegetación natural para actividades agrícolas y pecuarias con más del 75% de su territorio (Semarnat, 2005).

El estado de Veracruz, además presenta características fisiográficas e hidrológicas con características peculiares (Tejeda-Martínez, 2006), rodeado por una red de afluentes hacia el Golfo de México. Además, el estado se distingue por su impacto de fenómenos meteorológicos y frecuencia de inundaciones, presentando pérdidas económicas cada vez mayores, principalmente en infraestructura (comunicaciones y transporte) y en el sector agropecuario (Tejeda-Martínez, 2006; Ellis *et al.*, 2012).

Después de lo anterior, es urgente realizar y ampliar los estudios del sistema de cuencas en Veracruz, con la finalidad de proporcionar a los tomadores de decisiones más información para mejorar las estrategias y promover un manejo integral de las cuencas de la entidad. En este contexto, se utiliza el modelo hidrológico SWAT para analizar las cuencas del río Tuxpan y Coatzacoalcos, ubicadas al este de México. El modelo SWAT presenta la particularidad de relacionar las características del paisaje y el cambio de uso de suelo con los procesos hidrológicos (Neitsch *et al.*, 2005).

Este trabajo, se enfoca en la identificación de áreas problemáticas respecto al comportamiento hidrológico y su relación con las características del paisaje y su cobertura forestal en la Cuenca del Río Tuxpan y Cuenca del Río Coatzacoalcos, ubicadas al norte y sur de la entidad, respectivamente. Ambas cuencas se caracterizan por mantener parte de los últimos remanentes de bosque mesófilo de montaña en la parte alta (Cuenca Tuxpan), y el área más grande de selva perennifolia del país (Cuenca Coatzacoalcos), ambas históricamente amenazadas por eventos de inundación (Manson y Jardel-Peláez, 2009) y por la disminución de su superficie forestal natural. Además, dentro de estas cuencas se localizan dos de las diez principales ciudades del estado de Veracruz, con una población mayor a los 50 mil habitantes (Pereyra y Pérez, 2006).

Por lo que el objetivo central es evaluar las características hidrológicas y su comportamiento en las cuencas de los ríos Tuxpan y Coatzacoalcos en relación al paisaje y analizar sus características de relieve, suelos, clima, vegetación y uso de suelo, para proporcionar conocimientos y herramientas necesarias que apoyen acciones políticas, sociales y ambientalistas en las estrategias de conservación, restauración, mitigación, protección o de ordenamiento ecológico que beneficie al manejo integral y mantenimiento de las condiciones óptimas de ambas cuencas, y finalmente a la sociedad (Armenta-Montero, 2012).

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Sitio de estudio**

La Cuenca del río Tuxpan se localiza geográficamente entre los 20°18' y 21°15' latitud norte, y los 97°17' y 98°32' longitud oeste (Figura 1a), conformada por la Sierra de Huayacocotla al oeste, la Sierra de Otontepec al norte y al este el Golfo de México, con un área aproximada de 5 899 km<sup>2</sup> y abarca 30 municipios, distribuidos entre los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz (Pereyra y Pérez, 2006). La Cuenca del río Coatzacoalcos se encuentra geográficamente entre 16°38' y 18°22' latitud norte, y 94°11' y 95°45' longitud oeste (Figura 1b), formada por la Sierra de Los Tuxtlas (Sierra de Santa Marta y Volcán San Martín Pajapan) al norte, al suroeste por la Sierra Atravesada y Los Chimalapas, y al oeste por la Sierra Norte de Oaxaca, con un área aproximada de 17 369 km<sup>2</sup> (Conagua, 2011), esta cuenca abarca 40 municipios, de los cuales 15 pertenecen al Estado de Oaxaca y 25 a Veracruz (Consejo de Cuenca del Río Coatzacoalcos, 2010).



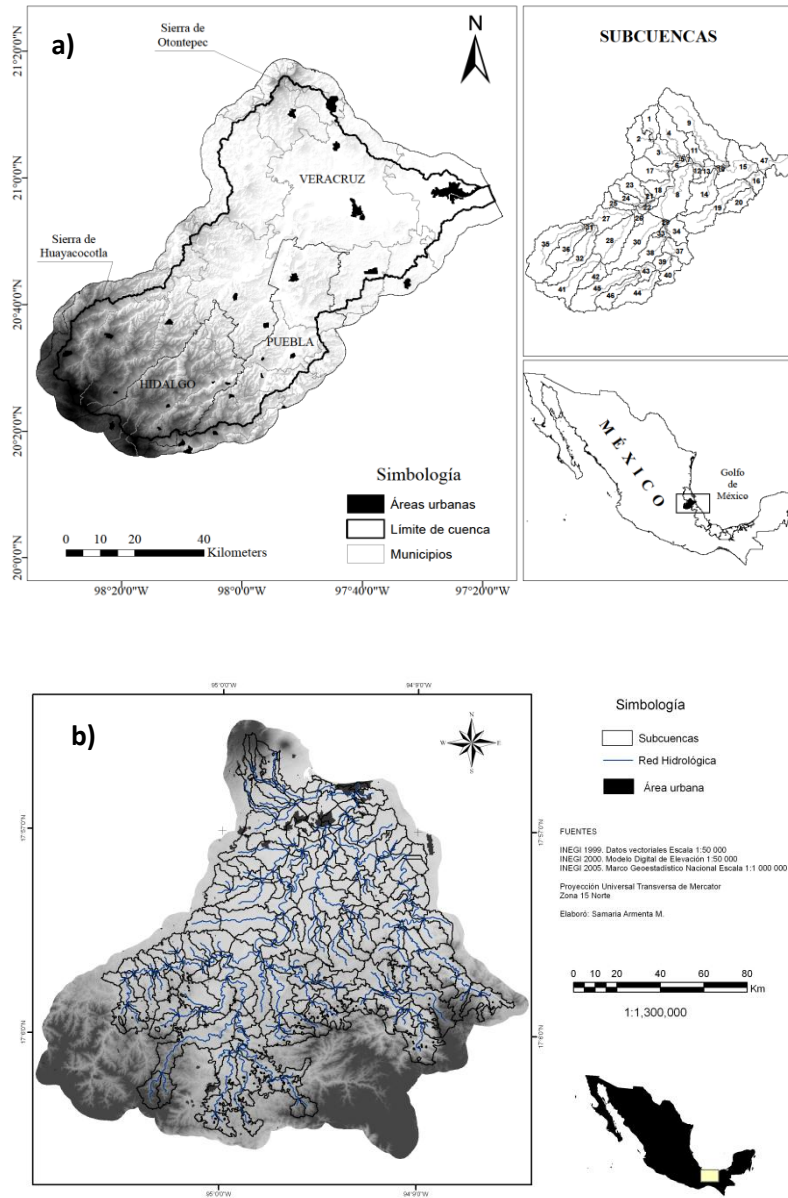


Figura 1. Ubicación y división de las cuencas del Río Tuxpan (a) y del Río Coatzacoalcos (b).

### Integración y procesamiento de datos

En la plataforma del programa SWAT se inició con la delimitación automática de la cuenca, para la cual se requirió el modelo de elevación, el mapa hidrológico, y la capa topográfica de la delimitación de la cuenca. Posteriormente, se integraron la capa de vegetación y uso del suelo junto con la de tipo de suelo. Para la primera capa se empleó el mapa del Inventario Nacional Forestal (Conafor, 2000), adaptando las categorías de vegetación con las correspondientes a la base de datos de SWAT. Para los datos de suelo se empleó el mapa edafológico del INEGI (1998), adaptada e integrada con datos fisicoquímicos de suelos (como porosidad, textura, conductividad hidráulica y eléctrica, entre otros) empleados por la FAO (1998).

La unión de las capas de elevación, hidrología, vegetación y uso de suelo, y edafología permitió la división de subcuencas, que a su vez están integradas por HRU, las cuales corresponden a áreas que representan condiciones de uso de la tierra, suelo y topografía homogéneas, produciendo un impacto particular sobre el comportamiento y distribución del agua (Neitsch *et al.*, 2005).

Posteriormente se compilaron e integraron los datos provenientes de estaciones climatológicas proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de los años 1976 al 2006, para obtener datos específicos sobre la temperatura máxima y mínima, precipitación, elevación y coordenadas geográficas de cada estación, cabe mencionar que las estaciones están ubicadas dentro y alrededor de las cuencas. A partir de estos datos se derivaron las 14 variables climáticas requeridas por el modelo. Finalmente, el modelo se ejecutó para el período del 01 de enero de 1985 al 31 de diciembre del 2005, empleando el método Hargreaves para el proceso de evapotranspiración (Neitsch *et al.*, 2005) verificando que todos los datos integrados fueran correctos.

### **Análisis de correlación de variables**

Para identificar qué características del paisaje influyen sobre las variables hidrológicas se aplicó la correlación de Spearman ( $r_s$ ) con una  $P > 0,05$  (Devore, 2005). Para determinar las posibles variaciones entre las variables e identificar la relación más fuerte entre las variables dependientes (hidrológicas) e independientes (explicativas) se aplicó un ancova, la cual consiste en eliminar la heterogeneidad causada por otras variables a la variable de interés (Devore, 2005). Para el ancova se emplearon ocho variables hidrológicas y 10 ambientales con los tipos de suelos.

### **3. RESULTADOS**

El modelo hidrológico SWAT, analizó el 99% de la superficie total de la Cuenca del Río Tuxpan, generando 47 subcuencas; y para la Cuenca del Río Coatzacoalcos, de acuerdo a la topografía de la cuenca, analizó el 72.13% del total de la superficie de la cuenca, con la división de 265 subcuencas. Se obtuvo la caracterización del balance hídrico anual de la cuenca Tuxpan correspondientes a los datos de clima de 1985 a 2005.

Tabla 2. Distribución de las principales características hidrológicas en la Cuenca del Río Tuxpan y Cuenca del Río Coatzacoalcos, México.

Características hidrológicas	Cuenca del Río Tuxpan	Cuenca del Río Coatzacoalcos
Precipitación (PREC)	1 387,9 mm	2 686,6 mm
Escorrentía superficial (SURQ)	477,7 mm	1 318,9 mm
Escurrimiento lateral (LATQ)	229,7 mm	13,5 mm
Escurrimiento subsuperficial (GWQ)	3,4 mm	40,2 mm
Evaporación (E)	3,0 mm	16,6 mm
Recarga de acuíferos (AQ)	0,2 mm	2,8 mm
Recarga total al suelo (AQT)	4,6 mm	56,5 mm
Producción hídrica (WYLD = SURQ+ LATQ+ GWQ-TLOSS)	708,8 mm	1 369,5 mm
Percolación profunda (PERC)	4,6 mm	56,9 mm

Evapotranspiración (ET)	678,7 mm	1 304,9 mm
Evapotranspiración potencial (PET)	24 862,3 mm	25 860,4 mm
Pérdidas por transmisión (TLOSS)	2,1 mm	3,1 mm
Producción de sedimentos (TSED)	61,5 Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	36,3 Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>

## Escurremientos

Se muestra el año 2005 para ejemplificar las condiciones más recientes en ambas cuencas. Los resultados del modelo SWAT indicaron que las subcuencas donde existen las mayores cantidades de escurrimiento, están relacionadas directamente con la presencia de agricultura y pastizales o selvas.

## Sedimentos

Al caracterizar la variable de sedimentos, se encontró que las mismas subcuencas que corresponden a las áreas que presentan las cantidades más altas para escurrimientos predichos, también ocurre para la producción de sedimentos. En la Cuenca del Río Tuxpan, subcuencas ubicadas en la cuenca media con más del 60% de su área con pastizal y agricultura. En la Cuenca del Río Coatzacoalcos, las áreas predichas con problemas están localizadas principalmente en el parteaguas del Río Coatzacoalcos y el del Río Calzadas, en la zona de humedales en la cuenca baja y, en la parte alta y media del Río Uxpanapan (Armenta-Montero *et al.*, 2012).

## Nitratos (NO<sub>3</sub>)

La mayor cantidad de NO<sub>3</sub> aportados correspondió a subcuencas con altas tasas de escurrimientos y sedimentos, además de la cuenca baja, donde se realizan actividades agrícolas y ganaderas, y se mantienen relictos de humedales.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las cuencas analizadas en este documento presentan características un tanto heterogéneas. La cuenca del río Tuxpan ubicada al norte del estado de Veracruz con una extensión de casi 6 000 km<sup>2</sup>, presenta una parte alta, media y baja bien diferenciadas (Armenta-Montero, 2012), el tipo de vegetación natural dominante es el bosque mesófilo (7.8%) ubicado en la cuenca alta, considerando que en México sólo queda el 1% de este bosque (Williams *et al.*, 2002), entonces en esta zona encontramos uno de los últimos refugios para este ecosistema. Sin embargo, casi el 90% de la superficie de la cuenca se encuentra cubierta por pastizales y agricultura, localizada en la parte media y baja. La precipitación promedio es de 1 387,9 mm, siendo la parte alta (la Sierra de Huayacocotla) el área más lluviosa de la cuenca.

En el caso de la cuenca del Río Coatzacoalcos ubicada al sur del estado, con una superficie tres veces mayor a la Cuenca del Río Tuxpan, sólo el 72% fue posible analizar. No se encuentran bien delimitadas las zonas características de una cuenca, localizando tres áreas que pueden ser catalogadas como la parte alta, la primera en la Sierra de Los Tuxtlas (Sierra de Santa Marta) ubicada al norte, otra en la Sierra Norte de Oaxaca en la parte suroeste y, finalmente la Sierra Atravesada en la zona de Los Chimalapas localizada al sur. Prácticamente no existe la cuenca media, ya que más del 70% de la superficie se encuentra por debajo de los 200 m de altitud, contando con una extensa planicie costera. La vegetación natural dominante son las selvas (alta perennifolia y subperennifolia) con poco más del 30% de la superficie total, localizadas en la parte alta (zona de Los Chimalapas). Las selvas son consideradas como sistemas complejos y frágiles a la perturbación por actividades humanas (Flores, 2005). Las selvas del Istmo como las de El Ocote, los Chimalapas y Uxpanapa, representan

la extensión ininterrumpida de selva húmeda más grande de México (770 mil ha) fuera de la región de La Lacandona (Flores, 2005), su conservación resulta indispensable. El 60% de la cuenca se encuentra ocupada por sistemas agropastoriles. Cabe mencionar que la zona de Los Chimalapas y la Sierra de Los Tuxtlas son las regiones en las que más llueve en México, con casi 4 000 mm de lluvia al año, entendiéndose los 24 606.6 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> de escurrimientos en el río (Conagua, 2007).

Se evaluaron los procesos del ciclo del agua, es decir, los escurrimientos, la producción de sedimentos, la percolación, la evapotranspiración, la producción hídrica y, el aporte y transporte de nitratos para ambas cuencas. La producción hídrica, es decir, el agua que puede ser almacenada o fluir por el río, es de 708,8 mm año<sup>-1</sup> para la Cuenca del río Tuxpan y 1 369,51 mm año<sup>-1</sup> para la Cuenca del río Coatzacoalcos, sin embargo, el 67% y 96% respectivamente, corresponde a escurrimientos superficiales, lo que indica la importancia de implementar estrategias de conservación que impliquen el aprovechamiento de tales volúmenes de agua (Armenta-Montero, 2012).

Para la Cuenca del río Coatzacoalcos, el porcentaje de escurrimientos puede explicar el problema recurrente de inundaciones que se presentan en la cuenca baja por los fenómenos meteorológicos o tormentas, ya que casi el 49% de la precipitación se está destinando a la escorrentía, aumentando también los sedimentos hacia el río, con una recarga del 2.8% (Armenta-Montero, 2012). Dichos porcentajes de la Cuenca del río Tuxpan, coinciden con la Cuenca Alta del Río Chama en Venezuela, con la misma precipitación y producción hídrica, pero menos del 1% forma parte de los acuíferos profundos (Barrios y Urribarri, 2010), lo cual indica una mínima recuperación de los mantos acuíferos de la cuenca en general.

Los escurrimientos se encuentran relacionados directamente con las condiciones topográficas, edafológicas y de uso de suelo y vegetación de las subcuencas. Las que mantienen la agricultura como el uso de suelo dominante en la parte baja, y las que están cubiertas por selva con agricultura y/o pastizal en la zona alta y media. Tal situación indica que grandes áreas de agricultura y pastizal responden más rápido a eventos de lluvia extrema, ya que aumentan los valores de escurrimientos superficiales como lo consignan también Benavides-Solorio y colaboradores (2008) en la Cuenca Tapalpa, Jalisco.

Los procesos hidrológicos en ambas cuencas, dependen en un 40% a 60% de la precipitación, como también lo mencionan Lelis y Calijuri (2010) para la Cuenca Sao Bartolomeu, Brasil; indicando que las características de los afluentes dependen de la cantidad de lluvia mensual y anual.

El transporte de sedimentos en las cuencas del río Tuxpan y río Coatzacoalcos corresponde a subcuencas con selva y agricultura o las que no presentan cobertura forestal (pastizal o agricultura). Particularmente, en la Cuenca del río Tuxpan, las áreas con problemas de escurrimientos superficiales y aporte de sedimentos corresponden a las mismas subcuencas, por lo que representa una correlación directa. En la Cuenca del río Coatzacoalcos el transporte de sedimentos (2 668 000 ton año<sup>-1</sup>), se presenta tanto en zonas con pendientes (selva-agricultura) como en la cuenca baja (humedales-pastizal). Una gran cantidad de sedimentos se transporta desde el parteaguas de dos de los principales afluentes, el Río Coatzacoalcos y el Río Calzadas, concentrándose en la zona de humedales (2 178 000 ton año<sup>-1</sup>). Es importante mencionar que estos ríos desembocan y transitan por los poblados Minatitlán y Coatzacoalcos, registrando un azolvamiento de estos tramos hidrológicos, disminuyendo el potencial de mitigación que tienen estos afluentes en eventos de lluvias torrenciales (Armenta-Montero *et al.*, 2012); si consideramos que los sedimentos superficiales de la estación Pajaritos y Teapa tienen valores de concentración elevados y por encima de los reportados para otras áreas costeras del Golfo de México, además de que las concentraciones de metales son significativamente más elevadas en los 10 km finales del río Coatzacoalcos, antes de su desembocadura en el mar (Rosales y Carranza, 2005), el problema de contaminación local por distintas fuentes es grave.

Es necesario mencionar, que la estabilidad de la parte alta de la Cuenca del río Tuxpan se explica estadísticamente, por la relación negativa entre el bosque y algunas de las variables hidrológicas, es decir, al aumentar el bosque disminuyen la escorrentía, el aporte y transporte de sedimentos (Armenta-Montero, 2012), y debido a que el bosque da protección a la cuenca, su diversidad de plantas ofrece un mosaico de posibilidades para mitigar eventos naturales, desde la retención del suelo por árboles y arbustos, ya que como se ha demostrado, la presencia de raíces profundas ayuda a prevenir movimientos de masas en laderas (García,





2010). El suelo también es un factor importante, como el regosol, relacionado directamente con la zona montañosa, un suelo poco consolidado, entonces su permanencia depende de la cubierta forestal del bosque mesófilo, ya que al talarlo el suelo se perdería en un período corto.

En contraste, la Cuenca del río Coatzacoalcos presenta modificaciones históricas de uso de suelo, y cantidades elevadas de escurrimientos, producción y transporte de sedimentos. Por ejemplo, el río Uxpanapan es el segundo tributario más importante de la cuenca, que nace en una zona biológicamente destacada e importante para la conservación de las selvas remanentes, sin embargo, las consecuencias probables de la deforestación masiva recurrente desde la década de los años 1970 son preocupantes, debido a que ésta junto con la Sierra de Santa Marta, son las que presentan problemas en cuanto a los procesos hidrológicos. En esta región se concluye que la precipitación es la más influyente sobre estas variables; y los tipos de suelo presentes en la cuenca alta, como el acrisol húmico con elevado contenido de materia orgánica y el nitosol dístrico, son de fácil erosión y producción de sedimentos (Armenta-Montero *et al.*, 2012). Más aún, se encontró que la producción de sedimentos en la cuenca alta está relacionada además de la precipitación y los suelos, también con la agricultura y los pastizales.

Como se esperaba, las relaciones entre las variables hidrológicas ocurren de forma directa entre la escorrentía, la producción de sedimentos y el aporte y transporte de nitratos, y para la Cuenca del río Coatzacoalcos también los escurrimientos con la producción de agua. Es decir, si consideramos que el elemento motor es la precipitación y que más de la mitad del agua escurre cuenca abajo y que además menos del 5% se infiltra, entonces toda ésta carga de agua se dirige cuenca abajo, arrastrando y produciendo grandes cantidades de sedimentos que van directo al río, incluyendo el aporte de nitratos. Sin embargo, las variables de la concentración de sedimentos y el caudal no tienen relación directa con las variables anteriores.

Como conclusión, se determina que los patrones de distribución de la vegetación, la precipitación anual y el tipo de suelo en ambas cuencas, fueron elementos decisivos en el comportamiento de las variables hidrológicas, principalmente de la escorrentía, la producción y transporte de sedimentos y de nitratos. Esta aportación, cubre ciertos vacíos de información sobre las características y comportamiento hidrológico de las cuencas del río Tuxpan y del río Coatzacoalcos. En esta investigación se prioriza al bosque mesófilo como proveedor y regulador de servicios hidrológicos en la Cuenca del río Tuxpan y al ecosistema selvático en la Cuenca del río Coatzacoalcos, como sistema complejo regulador de la producción hídrica, la generación y transporte de sedimentos (Armenta-Montero, 2012).

## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Arturo Romero, Irving Hernández y César Gallo del Laboratorio de Geomática del Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana, por el apoyo en el uso de sistemas de información geográfica. Este estudio fue realizado como parte del proyecto “Sistemas de Información para el Manejo de Cuencas (SIMAC) y el Análisis Geográfico de Riesgo de Inundaciones en las Cuencas del río Tuxpan y Coatzacoalcos”, financiado por la Dirección General de Investigaciones de la Universidad Veracruzana (Convocatoria DGI-2007). También agradecemos al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca 224286 otorgada al autor principal.

## 6. LITERATURA CITADA

- Armenta-Montero, S. 2012. Impacto de la vegetación y uso del suelo sobre las características hidrológicas en las cuencas de los ríos Tuxpan y Coatzacoalcos, Veracruz. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. 149 p.
- Armenta-Montero, S., J.C. López-Acosta, E. Rodríguez-Luna, E. A. Ellis, S. Del Amo, A. Gómez-Pompa, M.C. MacSwiney, A. Niembro-Rocas, O. Sánchez-Sánchez, M. Vázquez-Torres y N. Velázquez-Rosas. 2012. La restauración ecológica como estrategia para la reducción del riesgo de desastre ante inundaciones. Estudio de caso: la cuenca del río Coatzacoalcos. En: Tejeda-Martínez, A.



- y Betancourt T., L. (Coord.). Las inundaciones de 2010 en Veracruz. Memoria social y medio físico. COVECYT-UV. Colección La Ciencia en Veracruz. 216-270.
- Barrios, A. y L. Urribarri. 2010. Aplicación del modelo SWAT en los andes venezolanos: Cuenca alta del Río Chama. *Revista Geográfica Venezolana* 51(1):11-29.
  - Benavides-Solorio, J.D., M.J. González-Guillén, C. López-Paniagua y J.R. Valdéz-Lazalde. 2008. Oferta hídrica de la cuenca forestal Tapalpa, Jalisco, orientada hacia los servicios ambientales. *Madera y Bosques* 14(2):5-38.
  - Bruijnzeel, L. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:185-228.
  - Brüscheiler, S., U. Höggel y A. Kläy. 2004. Los bosques y el agua: interrelaciones y su manejo. En: <http://www.monitoreoyevaluacion.info/biblioteca/files/original/aad619d8985985532e7d6e0a326fb81a.pdf> Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2014.
  - Conafor (Comisión Nacional Forestal). 2000. Inventario Nacional Forestal Escala 1:250 000.
  - Conagua (Comisión Nacional del Agua). 2007. Estadísticas del Agua en México. SEMARNAT. 259 p.
  - Conagua (Comisión Nacional del Agua). 2011. Atlas del agua en México. México, D.F., México. CONAGUA-SEMARNAT. 133 p.
  - Devore, J.L. 2005. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Thompson. México. 794 p.
  - Ellis, E., M. Martínez-Bello y R. Monroy-Ibarra. 2011. Focos rojos para la conservación de la biodiversidad. In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), ed. La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Vol 1. CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, UV, INECOL A.C. México, D.F., págs. 351-367.
  - Ellis, E.A., J.A. Romero, I.U. Hernández, C.A. Gallo y J.L. Alanís. 2012. Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz. *Avances en Investigación Agropecuario* 16(1):7-28.
  - Fao (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1998. World reference base for soil resources. World Soil Resources Report No. 84. En: <http://www.fao.org/docrep/W8594E/W8594E00.htm> Fecha de consulta: 11 de febrero de 2010.
  - Flores M. 2005. La biodiversidad del Istmo de Tehuantepec. Tesis de maestría. UNAM. <http://www.ciesas-golfo.edu.mx/istmo/docs/borradores/aflores.html> Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2010.
  - García, R. 2010. La restauración hidrológica forestal, como herramienta de disminución de la producción de sedimentos. En: D. Brea y F. Balocchi, eds. Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas. Documentos Técnicos del PHI-LAC, UNESCO No 22. Montevideo, Uruguay, págs. 113-131.
  - García-Chevesich, P. 2010. Factores que afectan la erosión y la sedimentación. En: D. Brea y F. Balocchi, eds. Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas. Documentos Técnicos del PHI-LAC, UNESCO No 22. Montevideo, Uruguay, págs. 9-21.



- Inegi (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1998. Carta edafológica Escala 1:250 000. México.
- Lelis, T.A. y M.L.A. Calijuri. 2010. Modelagem hidrossedimentológica de bacia hidrográfica na regioao sudeste do Brasil, utilizando o SWAT. *Ambi-Agua* 5(2):158-174.
- Manson, R.H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1):3-20.
- Manson, R.H., E.J. Jardel-Peláez *et al.* 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. En *Capital Natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO. México, págs. 131-184.
- Neitsch, S.J., J.G. Arnold, J.R. Kiniry y J.R. Williams. 2005. Herramienta de evaluación de suelo y agua. Documentación teórica. Versión 2005. Soil and Water Research Laboratory, Texas, USA. En: <http://swat.tamu.edu/media/46964/swat2005-theo-doc-spanish.pdf> Fecha de consulta: 24 de noviembre de 2012.
- Pereyra, D. y A. Pérez. 2006. Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el estado de Veracruz. En: A. Tejeda-Martínez y C. Welsh-Rodríguez, coords. *Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz*. COVECYT-UV. Xalapa, México, págs. 81-99.
- Rosales H. y Carranza E. 2005. Estudio geoquímico de metales en el estuario del Río Coatzacoalcos. En: Botello A., J. Rendón-von, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2ª Edición. UAC, UNAM, INE. México, págs. 389-406.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2005. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. En: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/index.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/index.html) Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2012.
- Shvidenko, A., C. Barber y R. Persson. 2005. Forest and Woodland Systems. En: R. Hassan, R. Scholes, N. Ash, eds. *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Millennium Ecosystem Assessment. Washington, DC., USA, págs. 585-621.
- Tejeda-Martínez, A. 2006. Panorámica de las inundaciones en el estado de Veracruz durante 2005. En: A. Tejeda-Martínez y C. Welsh-Rodríguez, coords. *Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz*. COVECYT-UV. Xalapa, México, págs. 9-20.
- Williams, G., R. Manson y E. Isunza. 2002. La fragmentación del Bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 8(1):73-89.
- Wunder, S. 2006. Pago por servicios ambientales: principios básicos esenciales. Centro Internacional de Investigación Forestal. Jakarta, Indonesia. 24 p.
- Zhang, L., W.R. Dawes y G.R. Walker. 1999. Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance. Technical Report 99/12, Cooperative Research Centre For Catchment Hydrology). En: <http://ewater.org.au/archive/crcch/archive/pubs/pdfs/technical199912.pdf> Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2012.



Extenso ID: 186. Rubén I. Huerto D.a, Alfredo Amador G.b, Carlos Mariano R. a ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE LA CUENCA DEL RÍO PUNTA DE AGUA A LA LAGUNA DE LAS GARZAS, MANZANILLO, COLIMA,

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, [rhuerto@tlaloc.imta.mx](mailto:rhuerto@tlaloc.imta.mx)

<sup>b</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, [amador.umich@gmail.com](mailto:amador.umich@gmail.com)

## MESA 1

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

#### Resumen

El puerto de Manzanillo, Colima, ocupa el lugar número 7 de los diez puertos latinoamericanos más importantes y el segundo en esta escala del lado del Pacífico, tanto por su infraestructura y la cantidad de carga que moviliza, como por su posición estratégica, geográfica y mercantil, entre E.U. y Centroamérica. La Laguna de Las Garzas es un pequeño sistema con manglar (268 ha), adyacente al puerto, que funciona como principal contenedor de escurrimientos superficiales y sedimentos provenientes de la mayor parte de la cuenca del río Punta de Agua. Dicha laguna impide el azolve y la pérdida de profundidad en el puerto, donde el calado de las embarcaciones demanda cada vez más frecuentes dragados. Con el objetivo de identificar áreas generadoras de sedimentos y su problemática, en el presente estudio se delimitó y realizó la caracterización hidroclimática y biofísica de la cuenca. Se usó el modelo HEC-GeoHMS. Se revisó en campo la distribución de las capas vectoriales 1:250,000 del INEGI usadas en el SIG ArcGis y se implementó un modelo lluvia-escurrimiento así como la fórmula de Carson et al. (1973) para relacionar las descargas en cauces con la tasa de transporte de sedimentos. Se trata de una cuenca relativamente madura, que históricamente ha estado sujeta a fuertes procesos erosivos. Se determinaron 38 subunidades de escurrimiento. Respecto al uso del suelo y vegetación, la parte más alta y relativamente más abrupta presenta todavía buena cubierta de selva mediana, agricultura de temporal e incluso uso urbano. La precipitación anual histórica de la cuenca es del orden de 916.5 mm. Se calculó un rango de niveles de erosión de entre 0.1 y 811 ton/ha/año. El modelo lluvia-escurrimiento desarrollado muestra un buen ajuste lineal ( $R^2=0.9832$ ) y el transporte de sedimentos en suspensión y por arrastre de fondos de lecho de cauces asciende en promedio a 0.10 kg/s, con un rango de variación entre 0 y 0.60, y con una desviación estándar de 0.16 kg/s. Se realizaron recomendaciones sobre prácticas de control y medidas de mitigación para la cuenca.

**Palabras clave:** Sedimentos, modelos, SIG, HEC-HMS.

## 1 INTRODUCCIÓN

La reducción de las avenidas debido a la desviación de un río a una laguna, la cual llega a funcionar como un embalse es la modificación hidrológica más importante y significativa por sus implicaciones en la morfología del cauce, el transporte de sedimento, y la ecología del sistema fluvial. El sedimento transportado por un río se puede dividir en sedimento en suspensión (arcillas, limos y arenas) y carga de fondo (arenas, gravas y cantos). La carga de fondo, aunque representa un porcentaje generalmente bajo en el total de sedimento transportado, es la responsable del mantenimiento de la estructura morfológica del cauce y de las riberas de los ríos. Los

embales retienen la totalidad del material que es transportado como carga de fondo, y porcentajes importantes de sedimento en suspensión.

La erosión del cauce se produce debido a que la laguna (embalses) retiene la mayor parte del sedimento que circulaba por el río en condiciones naturales. El agua que el embalse libera durante las avenidas causa efectos aguas abajo pero no aporta sedimentos nuevos, por lo que el balance sedimentario del río entra en una fase de desequilibrio.

La sedimentación en el cauce se produce cuando los gastos que libera la laguna son inferiores a los naturales y no tienen capacidad para transportar los sedimentos que llegan al lecho aguas abajo. El principal efecto de la sedimentación es una disminución de la sección del cauce, lo que disminuye la capacidad del río para conducir avenidas, y esto puede ocasionar inundaciones y modificación de las características de los sistemas acuáticos. Aunado a lo anterior un factor muy importante de alteración es el crecimiento urbano.

De manera general, los principales efectos de desviar el río a partir de un canal artificial a la laguna son: a) la degradación de los ecosistemas fluviales y deltaicos, b) Acumulamiento de sedimentos en la laguna, logrando afectar su capacidad de regulación, pudiendo provocar inundaciones.

El sistema Lagunar de las Garzas-San Pedrito se encuentra localizado en la bahía de Manzanillo, Colima. Se comunica al océano a través del canal de entrada del puerto de Manzanillo y ésta a su vez hacia Las Garzas. Por la construcción de un terraplén de carretera y un vertedor, se indujo una separación física entre la laguna de Las Garzas y San Pedrito y, por consiguiente, se restringió el flujo de agua entre ambas lagunas, más aún la entrada de agua del océano a la Laguna de Las Garzas. Esta separación ha propiciado, en Las Garzas, una acumulación de sedimentos por lo que el nivel del mar ha llegado por arriba del nivel medio del mar a una profundidad de 0.60 m (Morales et al. 2009). En años recientes se ha venido desarrollando la construcción de vivienda en la riva de la Laguna, situación que modifica las condiciones naturales de escurrimiento y movimiento del agua hacia la laguna y dentro de la laguna.

Actualmente el efecto de las modificaciones que la laguna ha sufrido es la contaminación de origen antropogénico, mala oxigenación y reducción de la circulación del agua, sustitución paulatina de la vegetación original, un alto contenido de materia orgánica y la reducción de la capacidad de regulación y desfogue del agua que escurre hacia la laguna en temporada de lluvias, situación que se prevé como de riesgo. Al respecto se han venido desarrollando acciones de dragado, buscando dar mayor capacidad a través de la conformación de canales que permitan incrementar la capacidad de transporte del agua.

Uno de los riesgos que se pretende mitigar es el de inundación en las zonas pobladas alrededor de la laguna. Para ello es necesario desarrollar un estudio con las condiciones actuales de la laguna y las aportaciones de agua de la cuenca, modelar bajo diferentes períodos de retorno el comportamiento del sistema lagunar y determinar las zonas con probabilidades de sufrir inundaciones. A partir de estos antecedentes se definió: Contar con la delimitación de la cuenca de la Laguna de las Garzas; tener las elevaciones del terreno correspondiente a la cuenca de la Laguna de las Garzas a través de un modelo digital de elevaciones a partir de la información publicada por INEGI; describir el clima y las características morfológicas de la(s) cuenca(s) vinculadas conectadas a la Laguna; obtener las temperaturas mínimas, medias y máximas; valores de precipitación y evaporación, así como los eventos extremos (granizo, tormentas eléctricas, vientos) de las mismas; espacializar los resultados actuales y simular mediante un SIG (Sistema de Información Geográfica) escenarios potenciales y, finalmente, establecer prácticas de conservación y medidas de mitigación que permitan disminuir el efecto de los sedimentos provenientes de la cuenca sobre la laguna.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

La Laguna Las Garzas se localiza a 4.5 km al norte del centro histórico de la Ciudad de Manzanillo en el estado de Colima, Méx. Su principal cuenca tributaria de la cual dependen los aportes de escurrimientos de agua superficial y con ellos la carga asociada de sediment, es una cuenca que se extiende a su vez al norte del sistema lagunar y de la Bahía de Manzanillo (figura 1).

De acuerdo con la cartografía digital de INEGI (2016) escala 1:1,000,000, tanto la cuenca como la laguna, forman parte de la Provincia Fisiográfica: Sierra Madre del Sur, dentro de la Subprovincia: Sierras de las costas de Jalisco y Colima. Esta subprovincia la conforman topoformas de tipo Sierra Alta Compleja en las porciones de la cuenca, mientras que –en las porciones más bajas- constituyen topoformas del tipo Llanuras Costeras con Lagunas Costeras, las cuales se extienden y alternan con Playas o Barras Inundables y Salinas a lo largo de las costas de Jalisco y Colima. Mismo sistema y subsistema que conforma 27 km al Norte de la cuenca de estudio una muy significativa unidad natural resguardada legalmente en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, conocida como Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán.



Figura 1. Localización del área de estudio.

Para el análisis de lluvias y eventos extremos y el análisis hidroclimático se realizó el procesamiento, estudio e interpretación de los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas automáticas y semiautomáticas administradas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la red convencional del Servicio Meteorológico Nacional y las Estaciones Meteorológicas Automáticas.

Para complementar los datos faltantes se utilizaron los registros de estaciones cercanas con aproximadamente la misma altitud. También se completó la información faltante generando modelos de regresión lineal con la información existente agrupándose por meses, para todos los años del período del análisis. Mismo caso para los registros faltantes de precipitación acumulada en 24 hrs. Se emplearon y homogeneizaron los datos de las 10 estaciones dentro y alrededor de la cuenca, la obtención de períodos de retorno o Eventos Extremos Tipo I.

Con estos datos se hizo un análisis de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF), considerando los períodos de retorno a 5, 20, 50 y 100 años. Para el análisis de duración se consideró como evento el que transcurre durante un ciclo diario (0:10 hrs a 23:50 hrs.) o en un intervalo de 24 hrs. en el cual no hubo un período de 6 hrs sin lluvia.

Para el caso del escurrimiento, los cálculos asociados a las precipitaciones de periodo de retorno de 20 años obtenido con anterioridad se realizó con el Método Racional, el Método de Curva Numérica y una variación de estos en el Modelo HEC. Los primeros 2 métodos han sido empleados desde los años 50s, fueron desarrollados en los EUA y son aplicables a cuencas pequeñas de máximo unos 25 km<sup>2</sup>, por lo que la disgregación en unidades de escurrimiento es una función incluida en el módulo GeoHMs de HEC.

Ambos métodos siguen siendo usados para el cálculo de avenidas en áreas urbanas. Toma en cuenta, además del área de la cuenca, la masa de la precipitación y un coeficiente de escurrimiento que representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa y que se selecciona de acuerdo al tipo de suelo y vegetación.

La metodología para el modelo HEC (Hydrologic Modeling System 3.0.1), requirió de tres componentes para su calibración: un modelo meteorológico que se estructuró con información de diversa índole temporal (anual, mensual, semestral), ; un modelo de las características físicas e hidrológicas de las cuencas (para lo cual HEC ha desarrollado un módulo a manera de extensión del SIG ArcView, que deriva dichas características a partir del análisis de un Modelo Digital de Terreno (MDT) (Figura 2) y un denominado “manejador de las especificaciones de control” que fundamentalmente organiza los periodos de simulación en que es ejecutado el modelo.

Por otra parte, para la simulación hidroclimática a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) o GIS (por sus siglas inglesas) se utilizó el modelo de ARCVIEW 3.2 que nos permite representar datos georreferenciados, analizar las características y patrones de distribución de estos datos y generar informes con los resultados de dichos análisis; y para la edición de mapas finales se empleó ARCGIS 10.1.



Figura 2. Modelo vectorial de INEGI ensamblado en ArcGis 10.1.

### 3 RESULTADOS

#### Morfometría de la Cuenca



A continuación se presentan los resultados obtenidos con la geoestadística obtenida a partir de los insumos de INEGI (2016) escala 1:50,000. Particularmente lo relacionado al procesamiento del Modelo Digital de Terreno y sus implicaciones hidrológicas para la cuenca que a partir de este apartado se refiere similarmente como área de estudio.

El primer aspecto relevante de la morfometría de esta porción de la Cuenca “Arroyo Punta de Agua” es que se trata de una cuenca relativamente madura, que ha estado sujeta a los procesos erosivos de antaño y de eso da cuenta tanto el Perfil de Cauce Principal (figura 3a) como la Curva Hipsométrica o de acumulación de área por los distintos pisos altitudinales (figura 3b). En el primer caso se percibe como la cuenca tiene un desnivel de entre los 19 y los 1,010 m s.n.m. y es en la parte final de la desembocadura de la cuenca a través de su cauce principal donde se muestra una forma sumamente aplanada, lo que pone en evidencia un largo periodo de arrastre de sedimentos que han suavizado esta porción del área. Por otra parte, en la curva hipsométrica, se nota que no son abundantes en términos proporcionales las altitudes elevadas y que estas contribuyen relativamente poco al conjunto de superficie de la cuenca. En contraste con las porciones medias entre los 800 y 500 m.s.n.m. y bajas (19 a 500 m.s.n.m.) que constituyen la mayor parte de la cuenca.

Se estima en 123.61 km<sup>2</sup> la superficie total de esta parte de la cuenca. Presenta un perímetro de 88.16 km siendo el segmento más largo de la cuenca uno que recorre 18.95 km de longitud. Su cauce principal como se indica en la figura 3a. es de aproximadamente 25.95 km. Por su índice de forma (0.3) y coeficiente de compacidad (2.2) se subraya el aspecto amorfo más que alargado o circular de la cuenca que se observará en la cartografía. Su relación de elongación es 0.66 y su relación de bifurcación 2.0.

La densidad de drenaje de la cuenca de conjunto es un rasgo muy relevante ya que señala de manera indirecta lo diseccionado del terreno por ríos, canales o arroyos que concentran los escurrimientos superficiales y por tanto más drenado será el sistema. En esta cuenca el valor asciende a 2.4 corrientes/km<sup>2</sup>. Un parámetro similar lo ofrece el valor de densidad de corrientes que retrae en términos no lineales sino numéricos la cantidad de corrientes que una superficie presenta por unidad de área. En este caso dicho valor es de 6.7 corrientes/km<sup>2</sup>. La pendiente media es de 29.3°. La elevación promedio es de 362 m y en su extensión llegan a formarse corrientes de hasta sexto orden en la escala de Strahler.

#### Morfometría de subunidades de la Cuenca

Con el sistema HEC-GeoHMS, se determinaron 38 subunidades de la cuenca o área de estudio. Se obtuvieron los



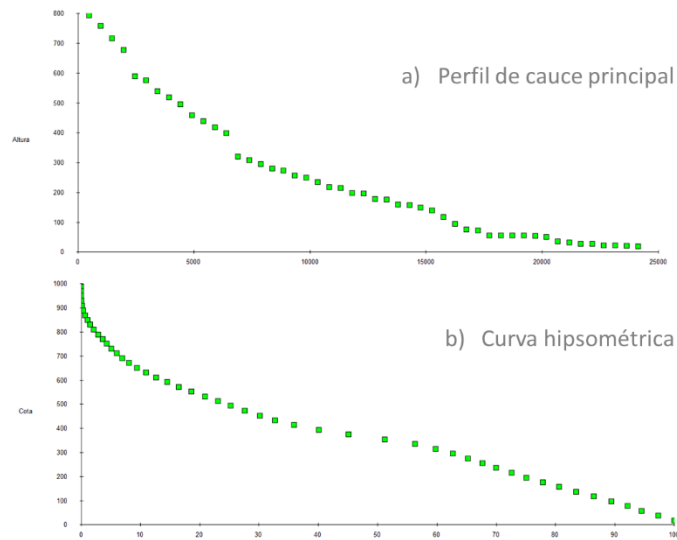


Figura 3. (a) Perfil de cauce principal. Sobre el eje x la distancia planimétrica (m) y en el eje vertical la altura también en m. (b) Curva hipsométrica o de acumulación de pisos altitudinales. Sobre el eje horizontal el porcentaje de superficie de la cuenca acumulada y en el eje vertical las diferentes altitudes.

valores morfométricos obtenidos con el módulo DetermHydro desarrollado por Guadalupe (2007). Para un reconocimiento aproximado de la ubicación de estas subunidades se presenta la figura 4, la cual además presenta una escala con la altimetría del área.

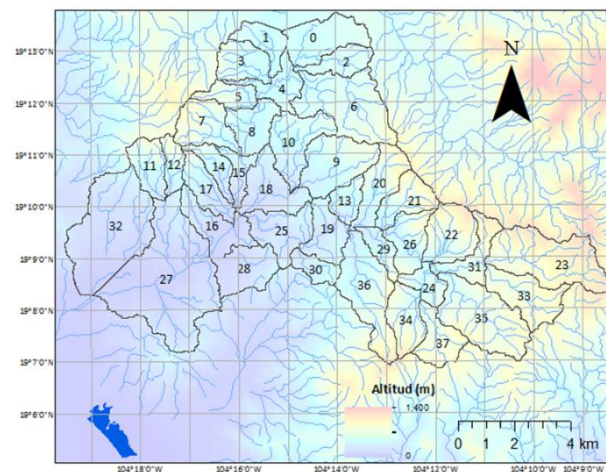


Figura 4. Ubicación de las subunidades de escurrimiento de la Cuenca “Arroyo Punta de Agua, y rasgos altimétricos de la misma. En la parte inferior izquierda y de color azul intenso la Laguna de Las Garzas.

La Figura 4 contiene además los conjuntos vectoriales de los cauces intermitentes en la región (líneas azules). El modelo geométrico que con esta información se conformó para las rutinas de simulación de escurrimientos superficiales es consistente en la mayor extensión del ejercicio. Excepto en la porción sur-oeste (inferior izquierda), precisamente donde se observa la continuación de cauces hacia el sur oeste y parece alejarse del sistema lagunar.

Alrededor de ese punto se tiene sabido la existencia de una obra hidráulica que bifurca los escurrimientos. Por un lado, hacia el sureste y por tanto a la Laguna de las Garzas y otro continua hacia el suroeste y atraviesa infraestructura urbana y turística. La figura 5 proporcionada por Google Street View, muestra la panorámica a nivel del “Puente Buhos” aproximadamente a los 19°07’30”N y 104°19’12”W sobre la carretera federal No. 200 Manzanillo-Puerto Vallarta.



Figura 5. Punto de bifurcación del cauce principal de la cuenca “Arroyo Punta de Agua”  
 Aproximadamente a los 19°07’30”N y 104°19’12”W.

#### Geoestadística de la cuenca “Arroyo Punta de Agua”

Desde el punto de vista geológico, la cuenca es predominantemente de origen ígneo intrusivo de actividad orogénica del Cretácico y solo su parte más baja presenta material de arrastre depositado desde el Cuaternario. Conforme a la información digital del INEGI, solo las subunidades 27 y 32 contienen dicho material reciente de arrastre en menos del 20% de las respectivas superficies de estas subunidades. El resto del área y sus subunidades presenta rocas intrusivas ácidas originadas del Mesozoico (Cretácico).

La parte baja de la cuenca, señalada anteriormente con deposiciones del Cuaternario es rica en suelos del tipo Fluvisol y se presentan solo en la subunidad No. 27. En general predominan las texturas medias en la parte alta y baja de la cuenca mientras que las texturas gruesas cubren la parte central media de la cuenca. De igual modo, se aprecia como las subunidades 0 y 2 están cubiertas casi en su totalidad por Regosoles y Feozem de textura gruesa sin fase física (Figura 6).

Finalmente, en este inciso se presenta lo concerniente a lo reportado por INEGI (2016), en su cartografía digital sobre los aspectos de vegetación y uso del suelo. Se sabe que este es un factor que interviene de manera significativa en la regulación de cierto tipo de tormentas principalmente por su efecto interceptor y atenuador del impacto de la lluvia, el desprendimiento de partículas del suelo, su desprendimiento, arrastre y transporte a través de las cuencas. En los modelos hidrológicos la combinación de cobertura y textura de suelo se han estandarizado en curvas numéricas que agencias como el Soil Conservation Service de los EU ha venido



usando desde los años 70 del siglo pasado (Chow, *et al.*1994). Como referente para las estimaciones de escurrimiento superficial, HEC-HMS presenta rutinas en este sentido.

A buena parte de la superficie de la cuenca “Arroyo Punta de Agua” por su ubicación y variación altitudinal, le correspondería un tipo de vegetación predominantemente del tipo Selva Baja Caducifolia y en las condiciones de mejor retención de humedad, ya sea por menor exposición a la insolación de laderas o por acumulación de escurrimientos superficiales, Selva Mediana Subperennifolia.

Con base en información del INEGI (2016), se presenta la figura 7 con la distribución de los actuales tipos de vegetación y usos de suelo en la cuenca. La parte más alta y relativamente más abrupta cubierta con una todavía buena cubierta de Selva Mediana. La parte central y de elevaciones medias, cubriendo la mayor extensión superficial de la cuenca, con vegetación secundaria de selva baja caducifolia o de selva mediana y pastizales cultivados, ello pone de relieve el uso pecuario predominante en la región. Una extensión significativa de la cuenca en su parte media-alta con agricultura de temporal e incluso uso urbano y el suelo residual de tipo Fluvisol en la parte baja de la cuenca con uso principalmente de agricultura de riego. El cuadro 1 sintetiza lo expresado en términos absolutos (ha) y relativos (%) de estos tipos de vegetación y usos de suelo reportados para la cuenca.

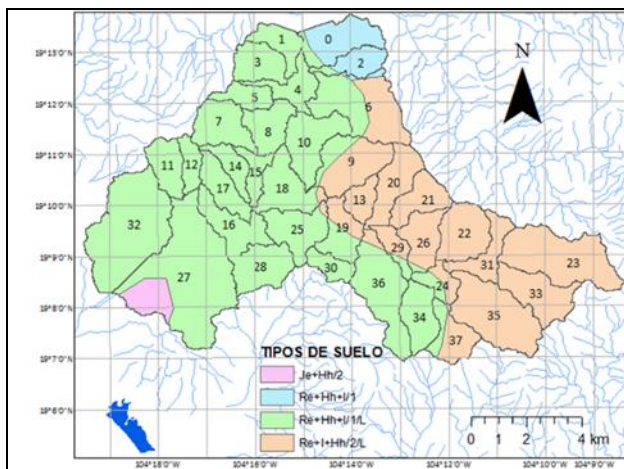


Figura 6. Tipos de suelo en la cuenca “Arroyo Punta de Agua” y sus subunidades de escurrimiento

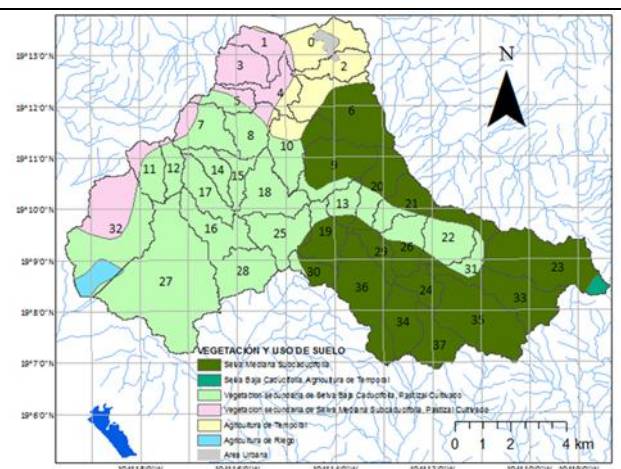


Figura 7. Tipos de vegetación y usos de suelo en la cuenca “Arroyo Punta de Agua” y sus subunidades de escurrimiento



TIPO	ha	%
Vegetación secundaria de Selva Baja Caducifolia, Pastizal Cultivado	5,372.4	43.5
Vegetación secundaria de Selva Mediana Subcaducifolia, Pastizal Cultivado	1,168.7	9.5
Agricultura de Temporal	830.6	6.7
Área Urbana	51.9	0.4
Selva Mediana Subcaducifolia	4,784.4	38.7
Selva Baja Caducifolia, Agricultura de Temporal	38.2	0.3
Agricultura de Riego	115.1	0.9
total	12,361.2	100

Cuadro 1. Abundancia absoluta (ha) y relativa (%) de tipos de vegetación y usos de suelo en la cuenca “Arroyo Punta de Agua”.

## Clima

La cuenca del área de estudio está comprendida en lo que INEGI reconoce como un clima tipo Aw0(w), es decir un clima cálido, subúmido, de lluvias en verano, en el que la temperatura del mes más frío es superior a 18°C. Derivado del procesamiento de los productos de la UNIATMOS, se tiene que la figura 8 muestra la marcha de temperaturas medias mensuales y la distribución espacial en el área de la temperatura media anual histórica en esta porción del país. No se aprecian meses con temperatura media inferior a 21 °C y en efecto los meses de verano son los más cálidos con máximos superiores a 26 °C. Destacan las subunidades 16 y 27 como aquellas que presentan los valores más altos de temperatura media anual de manera más extensa en sus respectivas superficies.

## Precipitación

Este es uno de los elementos del clima con más variabilidad espacial y estacional. Es además uno de los aspectos que mayor incidencia directa tienen con el desprendimiento, arrastre y transporte de sedimentos en una cuenca. De acuerdo a los modelos de circulación general y las evidencias estadísticas recientes, se señala que no solo dichos aspectos de variabilidad espacial y estacional se están haciendo más impredecibles, sino que la única tendencia más clara es el incremento de la intensidad de los eventos de precipitación (lámina acumulada en unidad de tiempo). De antaño el régimen de lluvias en la cuenca ha sido de verano, es decir que se acumula la mayor cantidad de precipitación los meses de junio, julio y agosto. La figura 8 presenta la marcha de precipitación acumulada mensualmente y la distribución espacial de la precipitación total acumulada como promedio histórico de 1903 a 2010 de acuerdo a la información de la UNIATMOS-UNAM (Fernández-Eguiarte, *et. al* 2016).

La precipitación anual histórica de la cuenca es del orden de 916.5 mm con una desviación estándar de 115.5 mm. El rango de variación de este parámetro fluctúa entre 751 y 1,375 mm, siendo de nuevo las partes altas en

la parte este de la cuenca, en las que se observan las precipitaciones más abundantes. En contraste con toda la parte central media y baja de la misma, en las que se atenúan los valores hacia la media.

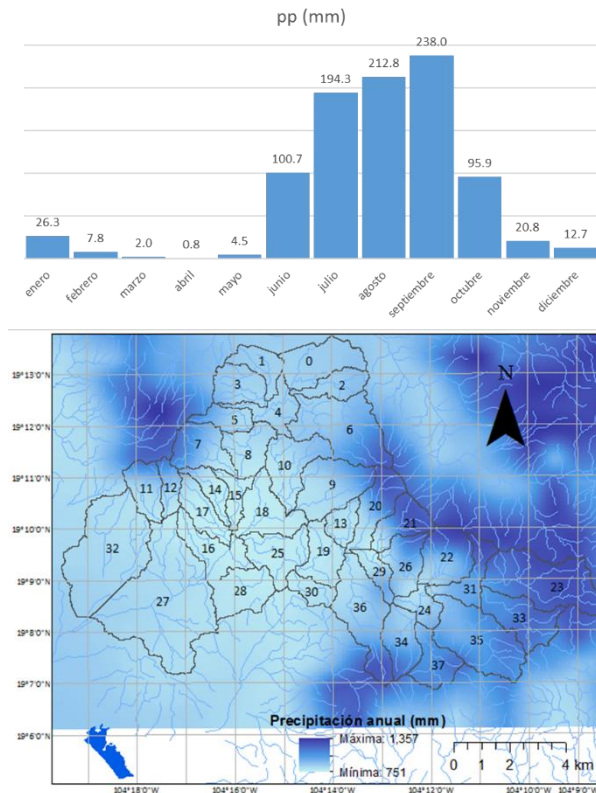


Figura 8. Distribución temporal y espacial de la precipitación en la cuenca “Arroyo Punta de Agua” con base en datos de la UNIATMOS-UNAM (Fernández-Eguiarte, *et. al* 2016).

### Erosión

Se presentan aquí los resultados de distribuir espacialmente los atributos de la ecuación en sus factores erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y pendiente de ladera (LS) y cobertura de suelo (C), se asignaron los valores que señala Figueroa *et al.* (1992) en su manual, para la estimación mediante SIG de la pérdida de suelo. Se calculó en general para la cuenca “Arroyo Punta de Agua” un rango de niveles de erosión de entre 0 y 811 ton/ha/año, siendo la media de 53 ton y la desviación estándar de 76 ton. En general se aprecia la parte norte de la cuenca como las más afectada. Específicamente a nivel de las subunidades 0 y 2 así como partes abundantes de las subunidades 4, 6 y 10 (Figura 9).

También son de relevancia una serie de porciones en el este de la cuenca en su parte más alta y la porción de salida de la cuenca que si bien no muestra los valores más altos, si destaca por ser una de las partes con menor pendiente y suelos actualmente en uso de agricultura de riego, justo en la confluencia de los escurrimientos conducidos en la subunidad 27. Como se señaló, destacan las subunidades 0,2, 4, 6 y 10 por presentar los valores promedio más altos de erosión, observándose por encima de 100 ton/ha/año, en contraste con las subunidades 24, 29 y 34 que se destacan por mostrar valores promedio inferiores a 10 ton/ha/año.

### Simulación de Escurrimiento

Se realizó la rutina más simple de la ejecución del Modelo HEC-HMS con la serie de tiempo de la estación meteorológica 6063 (“Chandiablo”) con información diaria continua, de la cual se seleccionaron los registros de 2013 en virtud de se trata de la serie más completa de la estación más cercana y la que representa un año que acumula poco más del promedio histórico señalado en el apartado de clima del presente estudio. Para el caso de la cuenca “Arroyo Punta de Agua” solo se cuentan con los elementos hidrológicos de “subbasin”, “reach” y “junction”. Estos son “subcuencas”, es decir, las superficies que captan la precipitación y acumulan los escurrimientos a los cauces que en el modelo geométrico de la cuenca se consideran como “tramos”. Y por último las “uniones” que son usadas en el sistema para sumar los flujos situados aguas arriba de ese punto.

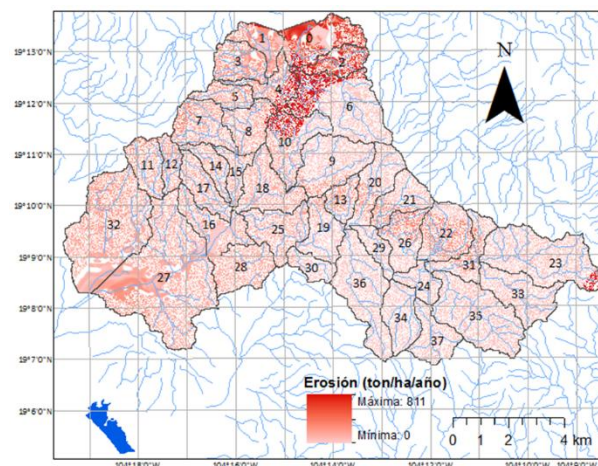


Figura 9. Distribución de la ejecución de la EUPS en la cuenca “Arroyo Punta de Agua”.

Las subcuencas se distinguen con la letra R seguida de dígitos numéricos, la letra W y nuevamente dígitos numéricos. Las uniones con la letra J seguida de dígitos numéricos y los tramos de cauce con la letra R seguida de dígitos numéricos. La figura 10 es una representación del modelo geométrico generado en HECGeoHMS exportado ya con todos los atributos de estos elementos hidrológicos al sistema HMS. El sistema también proporciona hidrogramas y hietogramas por subcuenca o subunidad de escurrimiento con el comportamiento acoplado a lo largo del tiempo. Se prefiere extraer los valores y graficarlos por separado en Excel para su mejor visualización en el presente estudio (figura 11).



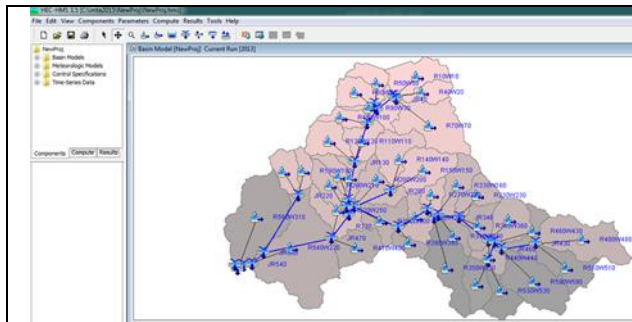


Figura 10. Modelo geométrico y ambiente HEC-HMS

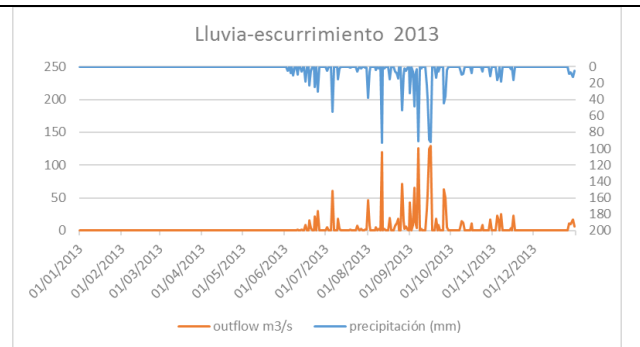


Figura 11. Marcha anual (2013) de la lluvia (mm) y escurrimiento (m³/s) con base en la ejecución del modelo HEC-HMS.

El buen ajuste que se obtiene entre la relación lluvia-escorrentía en la cuenca mediante la ejecución del sistema HEC-HMS, permite la extracción de los valores de descarga diarios por subunidad de escurrimiento de la cuenca y la generación de modelos de regresión para cada una de estas subunidades.

La imagen resultante de la descarga promedio anual  $Q$  ( $m^3/s$ ) (figura 12) es la suma de todas las  $Q$  mensuales generadas con la distribución espacial de las ecuaciones del cuadro 2 usando las imágenes raster o grids mensuales de precipitación obtenidos de la UNIATMOS-UNAM (Fernández-Eguiarte, *et. al* 2016), con los que se obtuvo la figura 8. Puede apreciarse como prácticamente en toda la parte media de la cuenca se observan los valores mínimos de alrededor de  $0.04 m^3/s$  y solo las subunidades 27 y 32 en la parte baja de la cuenca muestran los valores medios y máximos (arriba de  $0.3$  y hasta  $0.44 m^3/s$ ). También son de llamar la atención las subunidades 6, 35 y sobre todo la subunidad 23 que perteneciendo en su mayor extensión a la parte alta de la cuenca, muestran valores de escurrimiento promedio anual tendientes a los valores máximos.

Sub unidad	modelo	Sub unidad	modelo	Sub unidad	modelo
0	$y = 0.0014x - 0.0133$	13	$y = 0.0005x - 0.0092$	26	$y = 0.001x - 0.0157$
1	$y = 0.0007x - 0.0149$	14	$y = 0.0005x - 0.0124$	27	$y = 0.0049x - 0.098$
2	$y = 0.0007x - 0.0087$	15	$y = 0.0005x - 0.012$	28	$y = 0.0012x - 0.023$
3	$y = 0.0009x - 0.0219$	16	$y = 0.0011x - 0.0235$	29	$y = 0.0005x - 0.0111$
4	$y = 0.0008x - 0.0148$	17	$y = 0.0008x - 0.0197$	30	$y = 0.0005x - 0.0118$
5	$y = 0.0006x - 0.0116$	18	$y = 0.0013x - 0.0275$	31	$y = 0.0008x - 0.0155$
6	$y = 0.0024x - 0.0398$	19	$y = 0.0009x - 0.0206$	32	$y = 0.0034x - 0.0664$
7	$y = 0.0011x - 0.0225$	20	$y = 0.0011x - 0.0169$	33	$y = 0.0013x - 0.0242$
8	$y = 0.001x - 0.023$	21	$y = 0.0009x - 0.0186$	34	$y = 0.001x - 0.0247$
9	$y = 0.0016x - 0.0295$	22	$y = 0.0013x - 0.0201$	35	$y = 0.0023x - 0.0393$
10	$y = 0.0014x - 0.0274$	23	$y = 0.0025x - 0.0426$	36	$y = 0.0019x - 0.0425$
11	$y = 0.0008x - 0.0187$	24	$y = 0.0005x - 0.0118$	37	$y = 0.0009x - 0.0202$
12	$y = 0.0005x - 0.012$	25	$y = 0.0012x - 0.0242$		

Cuadro 2. Modelos de regresión lluvia “x” (en mm de precipitación mensual) y escurrimiento y (Q en m<sup>3</sup>/s) obtenidos para cada subunidad de la cuenca “Arroyo Punta de Agua”.

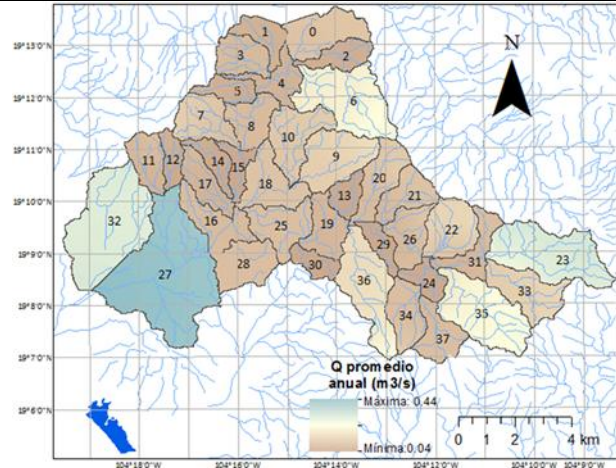


Figura 12. Descarga de escurrimiento promedio mensual (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca “Arroyo Punta de Agua”

### Simulación del transporte de sedimentos

El escenario basal de esta cuenca o escenario cero es el que ha sido descrito hasta el momento con un transporte de sedimentos en suspensión y por arrastre de fondos de lecho de cauces que asciende en promedio a 0.10 kg/s. (con un rango de variación entre 0 y 0.60, y con una desviación estándar de 0.16. El histograma de frecuencias de clases en que se agrupan las magnitudes de transporte de sedimentos promedio anual se muestra en la figura 13.

La distribución en la cuenca de estos valores se muestra en la figura 14. Se observa una fuerte consistencia de las subunidades de escurrimiento de la cuenca “Arroyo Punta de Agua” en las que los valores de descarga Q(m<sup>3</sup>/s) son más elevados, asimismo se corresponden con los elevados valores de T (kg/s). El modelo generado puede ser de relevancia para la estimación de arrastres extraordinarios ante tormentas o eventos extremos, también de carácter extraordinario, pero es de mayor relevancia para anticipar situaciones ante las precipitaciones convencionales previstas en escenarios de cambio climático.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Es muy grande la cantidad de agua que recibe la Laguna de las Garzas, aunado con la cantidad de arrastre de azolve de la corriente, lo cual provoca que esta pierda su capacidad de regulación y no pueda soportar tal gasto. Al realizar el estudio hidrológico de la cuenca propia de la Laguna se observó que aporta aproximadamente el 60 % de sus escurrimientos a la Laguna Las Garzas. El arrastre de sedimentos que se

tiene en la cuenca propia no es considerable, es decir, no proporciona un porcentaje considerable de todos los sedimentos que se arrastran hacia la laguna las Garzas, lo cual provoca que ésta pierda su capacidad de regulación. Esto significa que estos sedimentos se originan en la microcuenca más pegada a la laguna.

En la cuenca se determinó que existen 37 subunidades de escurrimiento, encontrando los mayores valores de transporte de sedimentos en la parte más baja de la cuenca (ya mencionado anteriormente), con una erosión hasta de 800 ton/ha/año en la subunidad # 27; además de que en esta subunidad se encuentran los bancos de arena concesionados y la obra de desvío que modifica significativamente la morfología del cauce natural y provoca la inundación y azolve acelerado de la laguna.

La parte y alta de la cuenca presenta buena cobertura vegetal con escaso escurrimiento y erosión, por el contrario, la parte baja de la cuenca con escasa cobertura vegetal con un gran escurrimiento y erosión. Se requiere realizar la estabilización y rectificación de cauces en la zona baja de la cuenca; realizar un desazolve periódico del canal de aproximación a la laguna de las Garzas, así como realizar prácticas de conservación y medidas de mitigación a lo largo del cauce y sobre todo en la parte baja de la cuenca del río debido a las características que se han mencionado.

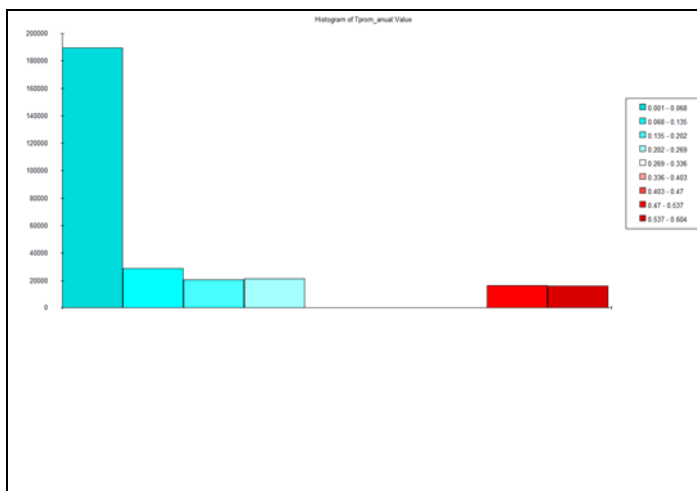


Figura 13. Histograma de frecuencias absolutas de las clases en que se agrupan los valores de transporte de sedimentos.

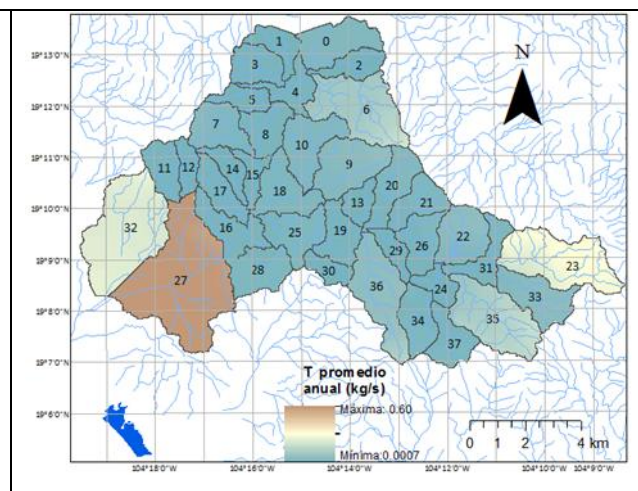


Figura 14. Distribución de valores de erosión en la Cuenca Arroyo Punta de Agua.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó en convenio y colaboración con la Administración Portuaria Integral de Manzanillo. Se agradece especialmente el apoyo y supervisión de la Química Rosa Aurora Quiroz Dahas, Subgerente de Ecología, y del M.C. Alejandro Abundis Santamaría, Jefe de Proyecto.

## 6. LITERATURA CITADA

- Carson M.A., Taylor C.H., and Grey B.J. 1973. Sediment production in a small Appalachian watershed during spring runoff: the Eaton Basin. *Canadian Journal of Earth Science*, 10, 1707-34.





- Figueroa S.B., Amante O.A., Cortés T.H.G., Pimentel L.J., Osuna C.E.S., Rodríguez O.J.M. y F.J.Morales F. 1992. *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión*. Colegio de Posgraduados-SARH. Montecillos, Méx. México. 150 pp.
- Fernandez-Eguiarte A., J. Zavala-Hidalgo, R. Romero-Centeno 2016. *Atlas Climático Digital de México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/>
- Guadalupe V. J. 2007. *Desarrollo de una herramienta para el diagnóstico hidrológico de cuencas*. Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Qro. México. 137 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. *Mapa Digital de México para escritorio*. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/mapadigital/>
- Morales, Pérez Rubén, A. Aguilar, J. Laurel, H. Vélez, V. Mejía y D. Hernández. 2009. *Estudio con el análisis de escenarios de modelación de la launa de Las Garzas con la dársena de San Pedrito en Manzanillo, Colima*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Informe de Proyecto IMTA:HC-0919.3. Jiutepec, Morelos, México. 105 pp.
- Soil Conservation Service 1972. Citado por Chow V.T., Maidment D.R. y L.W. Mays. 1994. *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill. Bogotá. Colombia. 584 pp.

Extenso ID: 70. Adolfo López-Pérez<sup>a</sup>, Mario Roberto Martínez-Menes<sup>b</sup>. ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DE DRENAJE. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUEHUETÁN

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Director General, INGENMADS, S.A. de C.V., Emiliano Zapata No. 26, Emiliano Zapata (U.H. ISSSTE), Texcoco, Estado de México, CP. 56227, email: [adolfoholp@gmail.com](mailto:adolfoholp@gmail.com)

<sup>b</sup> Profesor-Investigador, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP. 56230, email: [mmario@colpos.mx](mailto:mmario@colpos.mx)

## RESUMEN

En esta investigación se desarrolló una metodología para la priorización de áreas de drenaje con base en las condiciones actuales del área de estudio; se utilizaron los componentes que tienen relación directa con el proceso de degradación de los suelos y la alteración del sistema de drenaje tales como: morfometría, hidrología, estabilidad de laderas, índice de saturación del suelo, cobertura vegetal y condiciones socioeconómicas, combinados con el análisis multicriterio, específicamente el Proceso Analítico en Red (ANP, *Analytic Network Process*). El estudio se realizó en la cuenca del río Huehuetán, ubicada en la región del Soconusco, Chiapas, México, la cual se delimitó en ocho subcuencas, mismas que se priorizaron utilizando 18 criterios clasificados en seis componentes. La delimitación de la cuenca se realizó utilizando la metodología de Pfafstetter y el módulo de delimitación de cuencas del modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), la morfometría se determinó con hojas de cálculo, la hidrología se obtuvo mediante la aplicación del modelo SWAT, la estabilidad de laderas y la saturación del suelo se estimaron con el modelo SINMAP (*Stability Index MAPping*), el análisis espacio-temporal de la cobertura vegetal se realizó a través del NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) para el periodo 1993-2013 y las condiciones socioeconómicas se calcularon a partir del Censo de Población y Vivienda del año 2010. El Proceso Analítico en Red priorizó las áreas de drenaje y definió el orden de intervención de las subcuencas, lo cual puede asociarse con la creación de planes de manejo y acciones específicas para cada subcuenca; además, permitió identificar los componentes y criterios que más influencia tienen sobre el proceso de degradación y el crecimiento del sistema de drenaje; esto permitirá proponer prácticas de conservación del suelo, agua y obras de control de azolves para reducir el proceso de erosión hídrica, el crecimiento del sistema de drenaje y la concentración del flujo superficial en los cauces. La metodología puede utilizarse como herramienta de apoyo para la toma de decisiones cuando se analizan diversos componentes en áreas distintas.

**Palabras clave:** Toma de Decisiones Multicriterio, Proceso Analítico en Red (ANP), priorización, cuenca, subcuenca.

## 1 INTRODUCCIÓN

En México la degradación de los suelos está influenciada tanto por procesos naturales (erosión hídrica, deslizamientos, huracanes, etc.) como por actividades antropogénicas (cambios de uso del suelo, prácticas inadecuadas de manejo en áreas agrícolas, construcción de infraestructura de caminos, etc.); sin embargo, en las zonas costeras del sureste del país, este proceso se acelera con la presencia de lluvias torrenciales producto de los ciclones tropicales que generan lluvias de alta intensidad y de corta duración, concentrando el escurrimiento.

En la parte alta de la cuenca del río Huehuetán, ubicada al sureste del estado de Chiapas y cerca de la frontera con Guatemala, los habitantes realizan actividades agrícolas que deterioran los suelos, las cuales reducen la productividad agropecuaria, fomenta la pérdida de bosques y contaminan las aguas superficiales. La degradación en la parte alta de la cuenca ha aumentado la magnitud de los caudales y favorecido el crecimiento de los cauces por erosión, mientras que en la parte baja, la depositación de los sedimentos ha disminuido la capacidad hidráulica de transporte del cauce principal ocasionando desbordamientos y problemas de inundación.

La combinación del crecimiento urbano y el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos extremos en las cuencas de la Costa de Chiapas han acelerado los procesos de degradación y aumentando las pérdidas tanto económicas como humanas. En 1998, tras el paso de huracán Mitch, fueron necesarios 888 millones de pesos para restaurar las condiciones de funcionamiento de los cauces principales; posteriormente, en 2005 el huracán Stán causó nuevamente grandes afectaciones y se requirió una inversión de 10,149 millones de pesos (López-Báez et al., 2008). Sin embargo, las acciones que realizó el Gobierno Federal fueron correctivas, tomando en consideración los daños causados en la parte baja por los huracanes y no con base en un plan de manejo integral en función de la situación actual de la cuenca; ante esta situación, es necesaria la creación de planes de manejo que incluyan acciones de control, mitigación y/o reducción de los problemas a nivel cuenca desde la parte alta hasta la baja, que cubran todos los aspectos e interrelaciones existentes en la cuenca, para lograr impactar en la disminución de la degradación de los recursos. Esta problemática requiere de la implementación de programas de restauración hidrológica y manejo de suelos en laderas vulnerables, pero debido al tamaño de la cuenca, no es posible atender toda su superficie al mismo tiempo, lo cual obliga a priorizar y delimitar zonas de atención a corto, mediano y largo plazo con el objetivo de ejecutar acciones que tengan el mayor impacto con la menor inversión. A través del uso del ANP es posible identificar las áreas de atención prioritarias para la restauración hidrológica, a nivel subcuenca y/o microcuenca; además, permite elaborar planes de manejo integrales y seleccionar las prácticas y obras para disminuir el crecimiento del sistema de drenaje, atenuar la degradación de los suelos y mitigar los problemas de inundación en las partes bajas.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Ubicación del Área de Estudio**

La cuenca del río Huehuetán (Figura 1) se ubica en el sureste del país, cerca de la frontera con Guatemala entre las coordenadas 14°52'48" y 15°07'58" de Latitud Norte y 92°16'12" y 92°39'36" de Longitud Oeste. Pertenece a la Región Hidrológica No. 23 Costa de Chiapas y tiene una superficie hasta su descarga al mar de 751.90 km<sup>2</sup>; sin embargo, en este estudio se consideró el área hasta la estación hidrométrica Huehuetán que son 319.14 km<sup>2</sup> y se delimitó en ocho subcuencas usando la metodología de Pfafstetter (Verdin y Verdin, 1999; Pfafstetter, 1989).

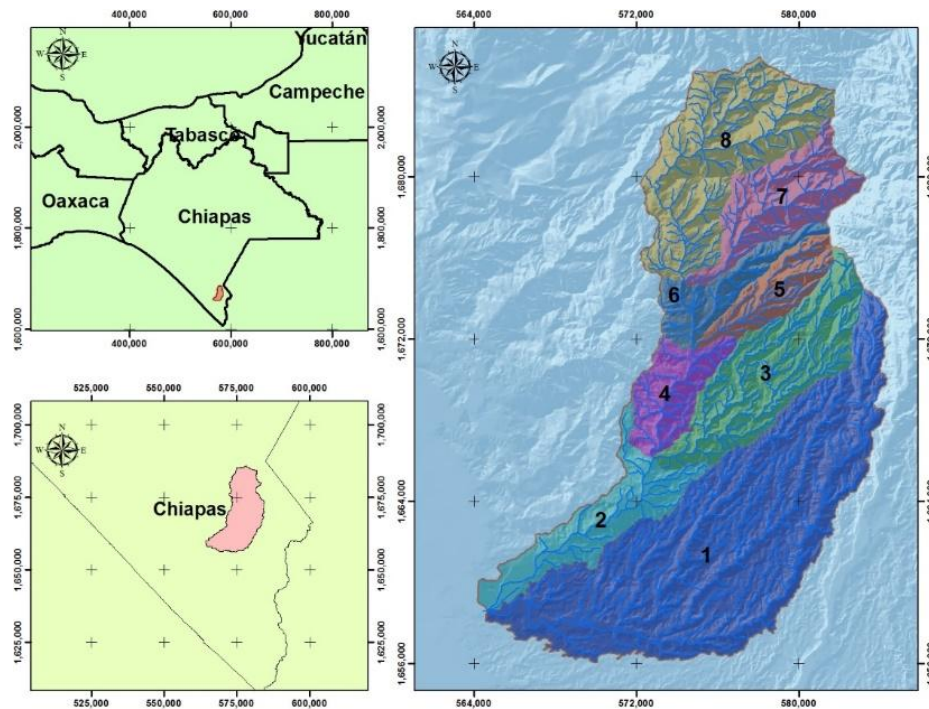


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca y las subcuencas delimitadas.

Las condiciones de relieve de la cuenca propician que sea un área constantemente afectada por eventos hidrometeorológicos extremos que causan lluvias torrenciales en las partes altas y medias, concentrando el flujo superficial en los cauces principales para desbordarse en las partes bajas de la misma; estos fenómenos tienen mayor impacto al asociarse con el relieve escarpado con pendiente mayores al 100% y suelos sin cobertura vegetal, ocasionando que éstas áreas sean susceptibles al proceso de erosión hídrica.

Las lluvias en la región son variables, ya que mientras en la parte alta la precipitación anual es de 1,000 a 1,500 mm, en la parte media es casi de 4,000 a 4,500 mm y en la parte baja varía entre 1,500 a 2,000 mm y se concentran en los meses de mayo a octubre, con precipitaciones en algunos meses mayores a 600 mm. Los climas son semicálido húmedo, cálido húmedo, cálido subhúmedo y templado húmedo, con temperaturas medias entre 16°C en la parte alta y 38°C en la parte baja.

La cuenca comprende tres municipios, siendo Tapachula en más importante con el 73.15% de la superficie total y el que mejor condiciones de desarrollo presenta. Existe una clara distribución de las condiciones socioeconómicas ya que en la parte baja los habitantes cuentan con todos los servicios, mientras que en la parte alta no se tienen o están en pésimas condiciones, lo que limita el desarrollo; aunado a esto, los asentamientos humanos están establecidos en áreas vulnerables lo cual genera una mayor presión sobre los recursos.

## 2.2 Determinación de los Componentes y Variables

Con base en la situación actual de la cuenca, se determinaron los componentes y criterios para formar parte de la metodología, siendo definidos por un grupo de expertos en temas relacionados con el manejo integral de cuencas, estas variables fueron: *morfometría* (densidad de drenaje  $D_d$ , densidad hidrográfica  $D_h$ , relación de bifurcación media  $R_{bm}$ , integral hipsométrica  $IH$ ), *hidrología* (escurrimiento superficial  $Esc$ , gasto pico  $Q_p$ ), *índice de estabilidad* (inestable  $I$ , ligeramente estable  $LE$ , estable  $E$ ), *índice de saturación del suelo* (seco  $Se$ , húmedo  $H$ , Saturado  $Sa$ ), *cobertura vegetal* (vegetación baja  $VB$ , vegetación media  $VM$ , vegetación alta  $VA$ )



y condiciones socioeconómicas (densidad de población DP, índice de marginación IM, índice de vulnerabilidad social IVS).

Para el cálculo de los parámetros morfométricos, se aplicaron las ecuaciones (1) y (2) de Horton (1945) para la densidad de drenaje ( $D_d$ ) y densidad hidrográfica ( $D_h$ ) y la ecuación (3) de Strahler (1957) para la relación de bifurcación media ( $R_{bm}$ ).

$$D_d = \frac{L_{tc}}{A} \quad (1)$$

$$D_h = \frac{L_u}{A} \quad (2)$$

$$R_{bm} = \frac{\sum_{u=1}^n \left( \frac{N_u}{N_{u+1}} \right)}{n} \quad (3)$$

Dónde:  $D_d$ , es la densidad de drenaje, en  $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ ;  $L_{tc}$ , es la longitud total de cauces, en km; A, es el área de la cuenca, en  $\text{km}^2$ ;  $D_h$ , es la densidad hidrográfica, en cauces  $\cdot \text{km}^{-2}$ ;  $L_u$ , el número total de cauces, adim.;  $R_{bm}$ , es la relación de bifurcación media, adim.;  $N_u$ , es el número total de cauces de orden u; n, es el número de relaciones de bifurcación obtenidas para cada orden, adim.

La integral hipsométrica (IH) se determinó mediante el uso de la aplicación CalHypso (Pérez-Peña *et al.*, 2009) para ArcGIS® 9.3, que toma en consideración las ecuaciones para la determinación de momentos estadísticos de Harlin (1978) y ajusta la curva usando un modelo polinomial de tercer grado.

Se utilizó el modelo SWAT para determinar el escurrimiento superficial y el gasto pico en cada una de las subcuencas delimitadas, a partir de la cobertura vegetal, propiedades físicas y químicas de los suelos, temperatura y precipitación. Para la calibración del modelo se revisó y analizó la información de la estación hidrométrica Huehuetán para un periodo de 34 años de registros medidos de escurrimientos (1965–1998).

El índice de estabilidad de laderas y el índice de saturación del suelo se determinaron de forma conjunta usando el modelo SINMAP, tomando en cuenta el inventario de deslizamientos, parámetros de conductividad hidráulica, cohesión del suelo, ángulo de fricción interna, densidad del suelo y modelo digital de elevaciones (Figura 2). El inventario de deslizamientos se obtuvo mediante el uso de imágenes de satélite con verificación en campo. Los valores obtenidos para cada subcuenca fueron reclasificados y asignados a las clases definidas.



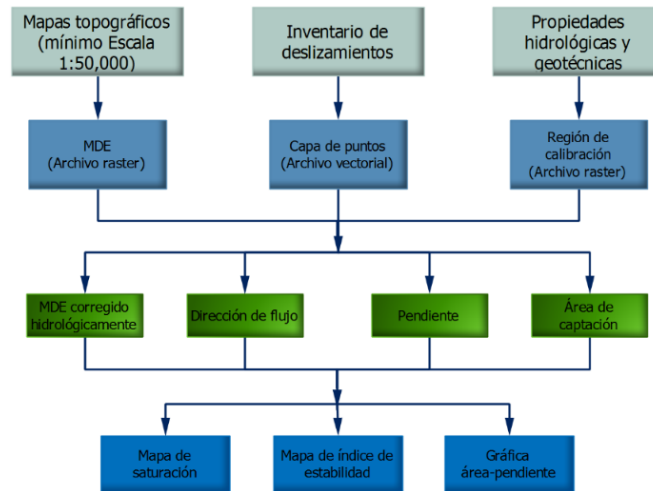


Figura 2. Diagrama de flujo del modelo SINMAP

La variación espacial y temporal del uso del suelo en la cuenca se determinó a través de la obtención del NDVI usando imágenes de los satélites LANDSAT 5 TM y LANDSAT 8 OLI de fechas 13/07/1993 y 20/07/2013, respectivamente, con la aplicación de la ecuación (4), (Hayes, 1985).

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R} \quad (4)$$

Dónde: NDVI, es el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas; IRC (infrarrojo cercano) y R (rojo), son las bandas usadas, bandas 4 y 3 para el sensor TM y 5 y 4 para el sensor OLI.

Los resultados obtenidos fueron clasificados para cada subcuenca en función de la propuesta realizada (Cuadro 1) por Merg *et al.*, (2011); la superficie en la clase nubes y agua fue eliminada y la de suelo desnudo se adicionó a la vegetación baja.

Cuadro 1. Clasificación de los valores de NDVI.

Clasificación	NDVI
Nubes y Agua (NA)	< 0.01
Suelo Desnudo (SD)	0.01 - 0.1
Vegetación Baja (VB)	0.1 - 0.2
Vegetación Mediana (VM)	0.2 - 0.4
Vegetación Alta (VA)	> 0.4

### 2.3 Priorización de subcuencas con el Proceso Analítico en Red (ANP)

El modelo ANP está integrado por jerarquías de control, componentes, nodos, interrelaciones entre nodos y entre componentes. Para la modelación, puede descomponerse en varias etapas operativas (Saaty, 2001; Dağderiven y Yüksel, 2010; Chen *et al.*, 2011; Aznar-Bellver y Guijarro-Martínez, 2012;) y se resumen a continuación:

1. Identificación de los elementos de la red y construcción de la red.

2. Análisis de la red de influencias (Matriz de Dominación Interfactorial).
3. Cálculo de las prioridades entre los elementos (Supermatriz Original).
4. Cálculo de las prioridades entres clústers (Supermatriz Ponderada).
5. Supermatriz Límite.

En la estructura del modelo ANP, los componentes y los criterios tienen interacción entre sí y están establecidos en un modelo en forma de red y no en orden jerárquico lineal como en el modelo AHP (*Analytic Hierarchy Process*, Proceso Analítico Jerárquico), de tal manera que se busca conocer el grado de dependencia e interrelación entre componentes y criterios; por lo tanto, con el modelo ANP es posible modelar el comportamiento del sistema hidrológico de las subcuencas cuando existe interacción entre estos y no parten de una estructura jerárquica como el modelo AHP donde la influencia de los criterios está ligada únicamente a los criterios del componente que se está analizando, ocasionando información imprecisa al tener esta limitante, lo que no ocurre con ANP.

Para la aplicación del modelo ANP en la cuenca del río Huehuetán, se programó una hoja de cálculo; se inició con la identificación de los componentes y variables así como la influencia entre estos, después se realizaron las matrices de comparación pareadas para conocer la ponderación de las variables que generaron la Supermatriz Original, a continuación se realizaron las matrices de comparación pareadas entre componentes que permitió obtener la Supermatriz Ponderada la cual se multiplicó por sí misma para obtener la Supermatriz Límite, donde ésta última muestra la priorización tanto de las subcuencas como de las variables (Figura 3). Los resultados obtenidos se analizaron y muestran las gráficas y mapas que indican la priorización de las subcuencas.

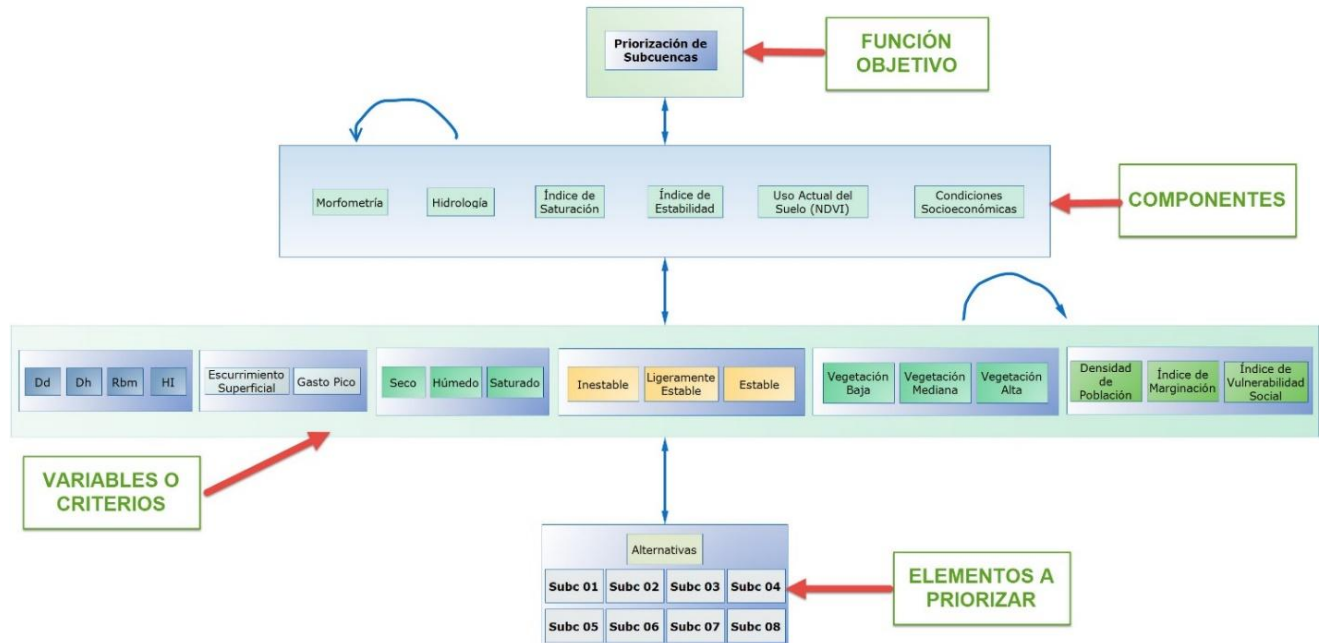


Figura 3. Esquema de la interacción entre los componentes y los criterios (variables) usando el modelo ANP.

### 3 RESULTADOS

El área (A), perímetro (P), longitud del cauce principal ( $L_c$ ), longitud total de cauces ( $L_{tc}$ ), pendiente del cauce principal ( $P_{lc}$ ), pendiente media de la subcuenca ( $P_{mc}$ ), elevación mínima, media y máxima ( $Emín$ ,  $Emedia$ ,  $Emáx$ ), desnivel (H), número total de cauces ( $L_u$ ), tiempo de concentración ( $T_c$ ) y número de orden (U), se obtuvieron con SWAT (Arnold *et al.*, 2012), las demás variables se estimaron con hojas de cálculo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características principales de las subcuencas delimitadas.

Subc.	A (km <sup>2</sup> )	P (km)	L <sub>c</sub> (km)	L <sub>tc</sub> (km)	P <sub>lc</sub> (%)	P <sub>mc</sub> (%)	Elevaciones (msnm)			H (m)	L <sub>u</sub>	T <sub>c</sub> (h)	U
							Mín.	Máx.	Media				
1	129.50	97.72	40.96	618.74	4.71	25.75	30	1,960	469	1,930	1,495	3.75	VI
2	25.52	53.18	16.79	99.93	3.75	23.33	30	660	246	630	196	2.06	IV
3	41.59	48.02	19.41	215.15	11.42	41.42	213	2,430	903	2,217	505	1.50	V
4	16.57	26.78	9.57	83.94	6.69	32.87	210	850	529	640	192	1.07	VI
5	14.23	26.52	10.02	76.02	20.06	57.67	510	2,520	1,205	2,010	179	0.73	IV
6	14.25	32.20	10.94	83.28	19.38	43.07	510	2,630	960	2,120	207	0.79	VI
7	25.92	37.48	13.23	145.28	15.12	66.95	660	2,660	1,745	2,000	415	1.00	V
8	51.70	47.20	18.03	279.75	11.26	58.12	660	2,690	1,651	2,030	738	1.42	VI

La variación de las áreas de aporte de las subcuencas está directamente relacionada con la longitud del cauce y el tiempo de concentración, lo que influye en la concentración del escurrimiento superficial y su entrega al cauce principal; por lo tanto, el análisis de las áreas de drenaje en función de la precipitación y el escurrimiento, permite identificar las condiciones de funcionamiento hidrológico de las mismas.

A partir de la aplicación de las metodologías descritas anteriormente, se obtuvieron los valores iniciales (Cuadro 3) para establecer la interacción, dependencia o independencia entre los criterios y entre los componentes. Esta información se entregó a expertos para que a partir de su experiencia en los componentes y variables considerados, se determinara la influencia entre las variables y las matrices de comparaciones pareadas.



Cuadro 3. Valores de las variables (criterios) usados para establecer las matrices de comparaciones pareadas.

Componente	Criterio	Subcuencas							
		01	02	03	04	05	06	07	08
Morfometría	D <sub>d</sub> (km•km <sup>-2</sup> )	4.78	3.92	5.17	5.07	5.34	5.84	5.60	5.41
	D <sub>h</sub> (cauces•km <sup>-2</sup> )	11.54	7.68	12.14	11.59	12.58	14.53	16.01	14.27
	R <sub>bm</sub> (adim.)	4.99	3.45	4.57	4.35	3.99	4.38	4.30	4.14
	IH (%)	21.90	34.48	31.33	50.02	34.67	21.76	54.25	49.02
Hidrología	Esc (mm)	817.38	716.43	1,049.03	947.70	1,166.94	955.89	1,092.34	907.11
	Qp (m <sup>3</sup> •s <sup>-1</sup> )	23.52	20.19	16.58	5.62	7.11	11.85	14.38	21.46
Índice de Estabilidad	I (ha)	125.30	16.67	178.82	22.60	188.90	105.36	501.45	657.44
	LE (ha)	1,927.23	379.58	1,468.28	379.88	690.60	467.77	1,468.08	2,824.78
	Est (ha)	10,897.30	2,156.01	2,511.51	1,254.04	543.39	851.64	622.35	1,687.99
Índice de Saturación	Se (ha)	3,748.05	550.34	1,852.38	530.49	759.95	624.03	1,456.72	2,672.53
	H (ha)	5,643.32	1,194.11	1,759.75	885.54	529.42	627.92	941.73	2,047.11
	Sa (ha)	3,558.46	807.81	546.48	240.49	133.52	172.82	193.43	450.57
NDVI	VB (ha)	-4.41	45.72	1.98	5.58	29.43	28.71	147.51	189.63
	VM (ha)	382.41	115.02	195.93	41.31	105.93	82.35	603.45	970.92
	VA (ha)	-334.98	-179.64	-177.30	-48.15	-135.09	-111.15	-771.12	-1,174.59
Condiciones Socioeconómicas	DP (hab•km <sup>-2</sup> )	1.02	3.60	0.55	0.44	0.61	1.33	0.25	0.36
	IM (adim.)	15.33	15.47	18.25	18.22	16.24	14.90	18.55	17.10
	IVS (adim.)	0.52	0.52	0.50	0.49	0.43	0.53	0.45	0.55

Donde: D<sub>d</sub>, es la densidad de drenaje; D<sub>h</sub>, es la densidad hidrográfica; R<sub>bm</sub>, es la relación de bifurcación media; IH, es la integral hipsométrica; Esc, el escurrimiento superficial promedio anual; Qp, es el gasto pico; I, es el criterio inestable; LE, es la variable ligeramente estable; Est, es la variable estable; Se, es la variable seco; H, es la variable húmedo; Sa, es la variable saturado; VB, VM, VA, son las variables de vegetación baja, media y alta respectivamente, los valores positivos indican ganancia de cobertura en esa clase y valores negativos indican pérdida; DP, la densidad de población; IM, el índice de marginación; e IVS, el índice de vulnerabilidad social.

Cuadro 4. Matriz de comparación pareada de los componentes, usada para obtener la Supermatriz Ponderada.

	Morfometría	Hidrología	Índice de Estabilidad	Índice de Saturación	NDVI	Condiciones Socioec.	Alternativas
Morfometría	0.00000	0.46158	0.10517	0.09570	0.06584	0.15078	0.15218
Hidrología	0.41972	0.00000	0.17189	0.31026	0.11253	0.13489	0.30856
Índice de Estabilidad	0.23926	0.09446	0.00000	0.16033	0.21543	0.28725	0.08027
Índice de Saturación	0.16339	0.08844	0.31340	0.00000	0.22819	0.30314	0.09375
NDVI	0.10466	0.19029	0.31950	0.34078	0.00000	0.07362	0.30432
Condiciones Socioec.	0.04590	0.12977	0.05887	0.06168	0.33645	0.00000	0.06092
Alternativas	0.02707	0.03545	0.03117	0.03125	0.04156	0.05031	0.00000
SUMA	<b>1.00000</b>	<b>1.00000</b>	<b>1.00000</b>	<b>1.00000</b>	<b>1.00000</b>	<b>1.00000</b>	<b>1.00000</b>

Con la opinión de los expertos, se generó la Supermatriz de Dominación Interfactorial y se elaboraron las matrices de comparación pareadas de los componentes (Cuadro 4) y criterios, las cuales dieron como resultado la Supermatriz Original, después la Supermatriz Ponderada y finalmente la Supermatriz Límite. (Cuadro 5, ésta se identifica cuando todas las celdas de una misma fila tienen el mismo valor).





A partir de los valores de la Supermatriz Límite se conocen las prioridades tanto de los criterios como de las alternativas (subcuencas); las prioridades de los componentes están definidas con la obtención del vector propio al multiplicar la matriz de componentes por sí misma, cuantas veces sea necesario hasta que el vector propio resultante no tenga variaciones considerables con respecto al vector propio anterior, este procedimiento es el mismo para la obtención de la Supermatriz Límite.

Cuadro 5. Supermatriz Límite obtenida a partir de la Supermatriz Ponderada.

SUPERMATRIZ LÍMITE		Morfometría				Hidrología		Índice de Estabilidad			Índice de Saturación			NDVI			Condiciones Socioeconómicas			Alternativas							
		Dd	Dh	Rbm	IH	Esc	Qp	I	LE	E	Se	H	Sa	VB	VM	VA	DP	IM	IVS	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08
Morfometría	Dd	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911	0.0911
	Dh	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397
	Rbm	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120
	IH	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122
Hidrología	Esc	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388	0.1388
	Qp	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521
Índice de Estabilidad	I	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094	0.1094
	LE	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274
	E	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196
Índice de Saturación	Se	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353
	H	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261
	Sa	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085	0.1085
NDVI	VB	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836
	VM	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387
	VA	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570	0.0570
Condiciones Socioeconómicas	DP	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876	0.0876
	IM	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263
	IVS	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Alternativas	S01	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054
	S02	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

S03	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032
S04	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
S05	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031
S06	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
S07	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055
S08	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069

Con base en los resultados obtenidos por el modelo ANP, se logró identificar la importancia de las variables y de los componentes sobre el proceso de degradación de los recursos (Figura 4). Con esta información se encontró la priorización de las variables que influyen sobre las condiciones actuales de las subcuencas, así como la priorización de las subcuencas. Estos resultados permiten a los tomadores de decisiones desarrollar planes de manejo de acuerdo a las necesidades en la cuenca o del área donde se pretende llevar a cabo un proyecto.

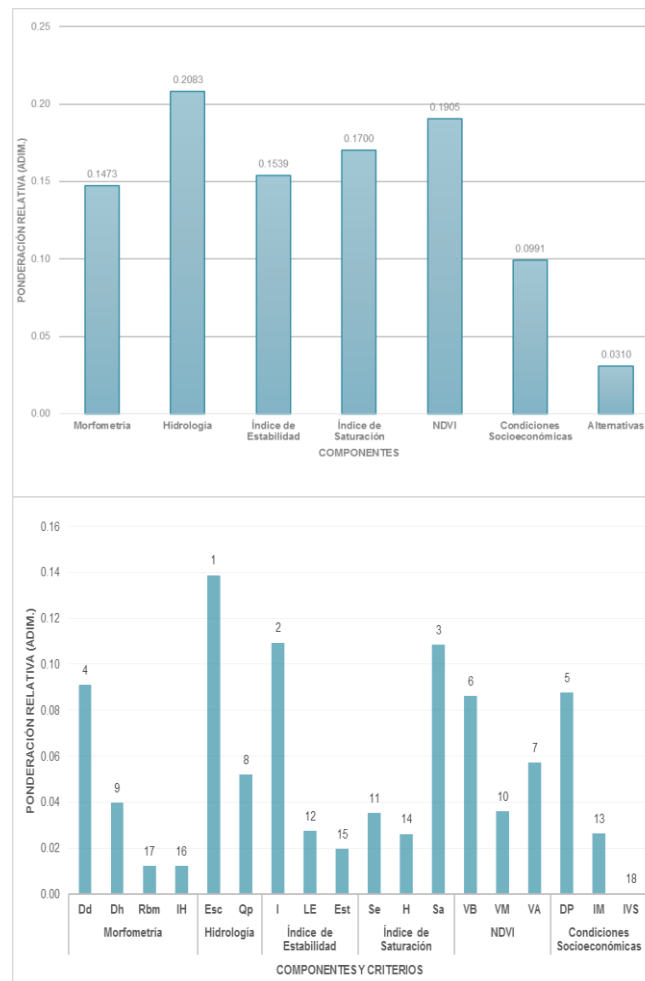


Figura 4. Importancia de los componentes y los criterios empleados por el modelo ANP.

A partir de los valores obtenidos en la Supermatriz Límite, se graficaron para obtener la importancia de las variables; de la misma forma se realizó para obtener la importancia o prioridad de las subcuencas (Figura 5). Para graficarlos, se separaron los componentes y las alternativas y se ordenaron de mayor a menor valor, siendo directamente proporcionales al nivel de prioridad.

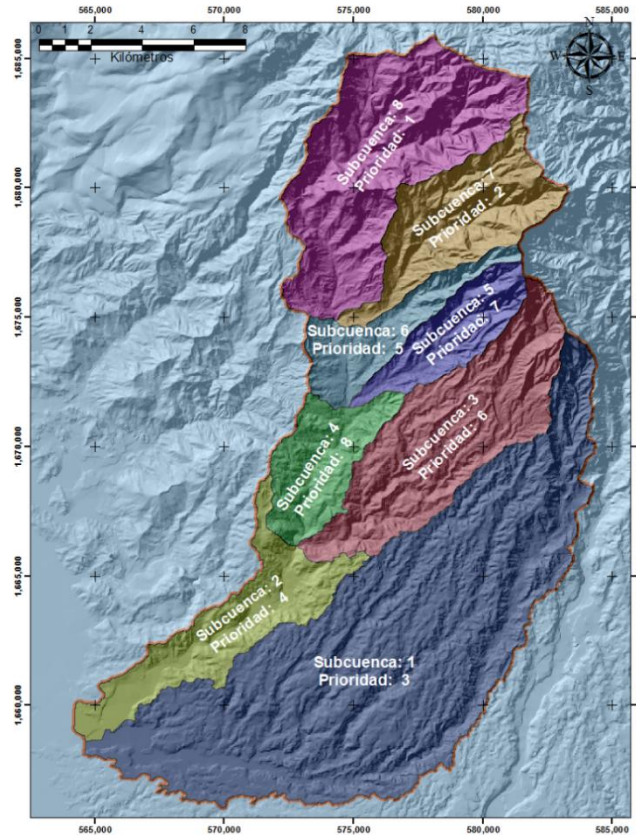


Figura 5. Mapa de priorización de subcuencas con base en el modelo ANP.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La caracterización morfométrica se ha empleado en la priorización de áreas de atención, específicamente para el establecimiento acciones encaminadas hacia la protección de los recursos naturales y la disminución de la degradación de los mismos, como ha sido reportado por Biswas et al. (2002), Ratnam et al. (2005), Kouli et al. (2007), Srinivasa-Vittala et al. (2008), Iqbal y Sajjad (2014) y Rashid y Saju (2014), entre otros, quienes coinciden en el uso de los parámetros lineales para la priorización de áreas de drenaje a distintos niveles de intervención. La variabilidad encontrada en los resultados obtenidos permitió mejorar la precisión del modelo ANP para definir la influencia en el crecimiento del sistema de drenaje.

Con relación el modelo SWAT, la concentración del escurrimiento superficial en los cauces principales de las subcuencas permitió clasificarlas con base en el volumen y el gasto generado, encontrando comparaciones similares a las de Besalatpour *et al.* (2012) y Phomcha *et al.* (2012), quienes aplicaron el modelo SWAT para priorizar áreas de intervención; además, la combinación de este componente con la cobertura vegetal, logró asociar el efecto que la variación del uso del suelo tiene sobre diferentes tipos de suelo, permitiendo identificar periodos de cambio en las mismas áreas de intervención y el efecto que esto ocasiona al sistema de drenaje y la degradación del suelo.

El 64.28% de la cuenca es estable, sin embargo la estabilidad de las laderas es directamente proporcional a las condiciones de relieve; cuando este proceso se combina con la variación del



grado de saturación del suelo, se identifican las áreas más vulnerables de la cuenca, establecidas principalmente en la parte alta. Un problema en las áreas inestables es que si se presentan lluvias intensas y de corta duración, el riesgo al deslizamiento en masa del suelo se incrementa. Las áreas con mayor grado de saturación del suelo están en la parte baja y cercanas a los cauces; sin embargo, en la parte alta, la combinación de este índice con la pendiente, precipitación, cobertura vegetal y tipo de suelo, incrementan el riesgo potencial a deslizamientos. Debido a las condiciones de relieve en la parte alta, no se presentan áreas saturadas en las laderas, lo cual indica que los procesos como escurrimiento superficial y transporte de sedimentos son mayores; mientras que en la parte baja, se presentan procesos de acumulación de los escurrimientos y sedimentos debido a las bajas pendientes.

Con base en la Figura 4 se observa que los componentes que mayor influencia tienen sobre el proceso de degradación en la cuenca y en la priorización de las subcuencas son las condiciones hidrológicas y la cobertura vegetal. Sin embargo, las primeras seis variables más importantes pertenecen a cada componente, siendo la más importante el escurrimiento superficial (prioridad uno), seguida de las áreas inestables (prioridad dos). Esta metodología permitió identificar las variables que tienen mayor influencia en el proceso de degradación de las subcuencas, permitiendo obviar aquellas que no tienen relevancia dentro del proceso o que su importancia es de menor impacto. Con estos resultados es posible identificar aquellas áreas en las que los procesos de degradación de los suelos y el crecimiento de la red de drenaje han sufrido cambios inducidos por la alteración de estas variables y que repercuten sobre el comportamiento del sistema de la cuenca.

Los componentes y variables utilizadas permitieron identificar las áreas prioritarias con relación a la degradación de los suelos y al crecimiento del sistema de drenaje. La importancia de la priorización de las subcuencas y de los componentes y variables que tienen influencia sobre la función objetivo (priorización de áreas de drenaje con base en el proceso de degradación y el crecimiento del sistema de drenaje) está relacionada con la identificación de acciones dirigidas a mitigar aquellos factores que ocasionan el deterioro de los recursos. Sin embargo, la metodología también permite conocer la interacción entre las variables, de tal forma que es posible analizar las cuencas adyacentes a la estudiada eliminando aquellos componentes que no tienen relación directa sobre la priorización o aquellas variables que no aportan suficiente información para la priorización.

El modelo ANP logró cumplir con el objetivo planteado; además, los componentes y variables usados reflejaron la importancia e interacción sobre la degradación del suelo y el crecimiento del sistema de drenaje. Los componentes pueden priorizarse de forma independiente; sin embargo cuando se realizan en conjunto, mejoran la precisión de los resultados, lo cual ayuda al desarrollo de políticas públicas y la implementación de proyectos enfocados hacia las necesidades identificadas en las áreas prioritarias tomando en consideración las variables de mayor impacto que están asociadas a los procesos de degradación del suelo y la alteración del sistema de drenaje.

## 5. LITERATURA CITADA

- Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R., Williams, J.R., Haney, E.B. and Neitsch, S.L. 2012. Soil and Water Assessment Tool. Input/Output Documentation, Version 2012, TR-439. Texas Water Res. Institute. 650 pp.
- Aznar-Bellver, J. y Guijarro-Martínez, F. 2012. Nuevos métodos de valoración: Modelos Multicriterio. Universidad Politécnica de Valencia, 2ª Ed. 280 pp.
- Besalatpour, A., Hajabbasi, M.A., Ayoubi, S. and Jalalian, A. 2012. Identification and prioritization of critical sub-basins in a highly mountainous watershed using SWAT model. *Eurasian Journal of Soil Science* 1: 58-63.





- Biswas, S., Sudhakar, S. and Desai, V.R. 2002. Remote sensing and geographic information system based approach for watershed conservation. *Journal of Surveying Engineering, ASCE* 128(3): 108–124.
- Chen, V.Y.-C., Lien, H.-P., Liu, C.-H., Liou, J.J.-H., Tzeng, G.-H. and Yang, L.-S. 2011. Fuzzy MCDM approach for selecting the best environment-watershed plan. *Applied Soft Computing* 11:265-275.
- Dağderiven, M. and Yüksel, İ. 2010. A fuzzy analytic network process (ANP) model for measurement of the sectoral competition level (SCL). *Expert Systems with Applications* 37:1005-1014.
- Harlin, J.M. 1978. Statistical moments of the hypsometric curve and its density function. *Journal of the International Association of Mathematical Geology* 10(1): 59-72.
- Hayes, L. 1985 The Current Use of TIROS-N Series for Meteorological Satellites for Land-Cover Studies. *International Journal of Remote Sensing* 6(1): 35-45.
- Horton, R.E. 1945. Erosional Development of Streams and their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56: 275-370.
- Iqbal, M. and Sajjad, H. 2014. Watershed Prioritization using Morphometric and Land Use/Land Cover Parameters of Dudhganga Catchment Kashmir Valley India. *J. of Geoph. & Rem. Sens.* 3(1): 1-12.
- Kouli, M., Vallianatos, F., Souplos, P. and Alexakis, D. 2007. GIS-based morphometric analysis of two major watersheds, Western Crete, Greece. *Journal of Environmental Hydrology* 15(1): 1–17.
- López-Báez, W., López-Martínez, J., Villar-Sánchez, B. y Faustino-Manco, J. 2008. Manejo de cuencas hidrográficas en el estado de Chiapas, México. Diagnóstico y propuesta de un modelo alternativo de gestión. En: “Cogestión de cuencas hidrográficas experiencias y desafíos”, CATIE, Turrialba, Costa Rica, págs. 21-26.
- Merg, C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Fernández, M., Schmidt, F. 2011. Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice verde. *Revista Pilquen, Sección Agronomía* 13(11): 1-11.
- Pérez-Peña, J.V., Azañón, J.M. and Azor, A. 2009. CalHypso: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. *Comp. & Geosc.* 35(6): 1214-1223.
- Pfafstetter, O. 1989. Classification of hydrographic basins: coding methodology, unpublished manuscript, Departamento Nacional de Obras de Saneamento, Brasil.
- Phomcha P., Wirojanagud, P., Vangpaisal T. and Thaveevouthti, T. 2012. Modeling the impacts of alternative soil conservation practices for an agricultural watershed with the SWAT model. *Procedia Engineering* 32: 1205-1213.
- Rashid, M. and Sahu, R. N. 2014. Watershed Prioritization on the Basis of Morphometric Parameters: A Remote Sensing and GIS Based Approach. *Int. Research Journal of Sustainable Science & Engineering* 2(1): 1-6.
- Ratnam, K.N., Srivastava, Y.K., Rao, V.V. 2005. Check dam positioning by prioritization of microwatersheds using SYI model and morphometric analysis, remote sensing and GIS perspective. *J. of Ind. Soc. Rem. Sens.* 33(1): 25–38.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Saaty, T.L. 2001. The Analytical Network Process. Decision Making with Dependence and Feedback, Pittsburg.
- Srinivasa-Vittala, S., Govindaiah, S. and Honne-Gowda, H. 2008. Prioritization of sub-watersheds for sustainable development and management of natural resources: an integrated approach using remote sensing, GIS and socio-economic data. *Current Science* 95(3): 345-354.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union* 38(6): 913-920.
- Verdin, K.L., Verdin, J.P. 1999. A topol. system for delineation and of the Earth's river basins. *J. of Hyd.* 218:1-12.



Extenso ID: 192. Alfredo Amador García<sup>a</sup>, Yolotzin Martínez Ruíz<sup>b</sup>, Manuel E. Mendoza<sup>c</sup>.  
ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO ESPACIALMENTE DISTRIBUIDO  
CONSIDERANDO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN CUENCAS COSTERAS NO  
INSTRUMENTADAS DEL GOLFO DE MÉXICO

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edificio 'R' Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, [amador.umich@gmail.com](mailto:amador.umich@gmail.com),

<sup>b</sup> Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, Morelia, Michoacán, [yolotzinmr\\_26@hotmail.com](mailto:yolotzinmr_26@hotmail.com)

<sup>c</sup> Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, 58190, Morelia, Michoacán, [mmendoza@ciga.unam.mx](mailto:mmendoza@ciga.unam.mx)

## RESUMEN

Con apoyo de fondos del *Kreditanstalt für Wiederaufbau* el presente estudio contribuyó a identificar y priorizar distintas Áreas Naturales Protegidas por sus servicios ambientales en la vertiente del Golfo. Se obtuvieron y restituyeron registros de estaciones meteorológicas e hidrométricas con los que, mediante la prueba estadística de Man-Kendall se probó la hipótesis de tendencias de cambio en dichas series de tiempo con los parámetros de temperatura y precipitación. Con el apoyo de un SIG, se realizó un análisis de cambio de cobertura y uso de suelo con las capas vectoriales de distintas series de INEGI. Se generó un modelo empírico de lluvia-escorrentía para las cuencas de los ríos Antigua y Jamapa en el estado de Veracruz con ajustes polinómicos de regular ajuste ( $R^2=0.61$  y  $0.62$  respectivamente). También mediante rutinas de álgebra de mapas en un SIG se distribuyeron espacialmente los parámetros para el cálculo de la Evapotranspiración Actual del modelo de **Thornthwaite y Mather** y con dichos insumos se estimó un balance de masa con los valores de precipitación total anual, evapotranspiración actual o real y el escurrimiento por subcuenca. Se procede de igual modo ante condiciones de temperatura y precipitación proyectadas con los modelos de circulación general ensamblados HADGEM1 y MPIECHAM5 para las familias de escenarios de cambio climático moderados A2 y B2. La transformación de cobertura y uso de suelo resulta preocupante, lo que repercute en el balance hídrico de la región. El modelamiento hidrológico aplicado indica claramente una drástica reducción de agua disponible en los sistemas para cubrir las demandas, principalmente de coberturas como la agropecuaria. Se muestra una reducción paulatina de las entradas de agua y un aumento progresivo en las salidas principalmente por evapotranspiración. La reducción del glaciar Jamapa en el Pico de Orizaba, ha favorecido temporalmente el incremento del escurrimiento superficial. Sin embargo, dicho glaciar se perderá definitivamente en el corto plazo y la cuenca del río Jamapa tendrá similar comportamiento que la del río Antigua.

**Palabras clave:** SIG. Modelamiento espacial. Cambio climático. Veracruz

## 1. IntroducCión



El concepto de balance hídrico resulta útil para predecir algunos de los impactos que específicamente puede tener en el ciclo hidrológico algunas de las actividades humanas en el contexto regional y local en que toman lugar los eventuales impactos de cambio climático. La comprensión de la dinámica de una cuenca requiere estudiar la relación entre los distintos procesos hidrológicos determinantes (Badano y Menéndez, 2010). Conocer la naturaleza de la interacción entre los procesos de cambios de uso del suelo y la variabilidad climática, no sólo es útil para el análisis post-efecto, sino también para predecir las posibles consecuencias hidrológicas de las prácticas de uso del suelo existentes o planeados (Tang *et. al.* 2011). La información de uso del suelo y la cobertura vegetal es un componente importante que contribuye al modelado de cuencas con respecto a la hidrología y la calidad del agua en la cuenca del río (Huang *et. al.* 2013).

De acuerdo con Landa *et. al.* (2011) en la actualidad una crisis ambiental afecta a los diferentes elementos de la naturaleza disminuyendo los bienes y servicios que ella puede brindar a la sociedad. Los eventuales impactos del cambio climático también son más severos en el sector hídrico, agropecuario y urbano ya que estos también son más vulnerables. No obstante, los autores señalan que, es muy importante conocer los probables impactos y las condiciones de vulnerabilidad de cada sector, y poder planear la mejor forma de enfrentar los efectos de la variabilidad del clima actual y del cambio climático futuro.

Dunne y Leopold (1978), Thornthwaite y Mather (1957) y Aparicio *et. al.* (2006), indican que de balance hídrico es útil para predecir algunos de los impactos que específicamente pueden tener en el ciclo hidrológico algunas de las actividades humanas en el contexto regional y local en que toman lugar los eventuales impactos de cambio climático. Los efectos hidrológicos de cambios en la cobertura de la vegetación pueden estimarse rápidamente y aunque las predicciones sean aproximadas, pueden ser lo suficientemente adecuadas para un análisis de los problemas hídricos de una región.

En consecuencia, en este estudio se plantea como objetivo general estimar las relaciones de los principales componentes del balance hídrico a nivel sub-regional en las cuencas de los ríos La Antigua y Jamapa. Lo anterior implicó la caracterización la función hidrológica a nivel de subcuencas de las cuencas de los ríos Tuxpan y Antigua, con base en la estimación del balance hídrico e incorporar el impacto de las proyecciones de cambio climático en las relaciones hidrológicas de las cuencas.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Área de estudio

Las cuencas de los ríos Jamapa y Antigua se localizan en el estado de Veracruz. La primera nace en el Pico de Orizaba, mientras que la segunda del Cofre de Perote. La cuenca del río Jamapa ocupa una superficie de 3,900 km<sup>2</sup>, mientras que la cuenca de Antigua ocupa 2,200 km<sup>2</sup>. Las porciones más altas tienen climas fríos, especialmente en el Pico de Orizaba, la montaña más alta de México (5,840 ms.n.m.). La altitud del Cofre de Perote es de 4,282 ms.n.m. La amplia variabilidad espacial promueve una alta diversidad de coberturas vegetales y consecuentes usos. La porción más alta de la Cuenca de Jamapa presenta hielos otrora considerados perpetuos (glaciar Jamapa). En ambas cuencas se presentan praderas de alta montaña, bosques templados, bosque mesófilo, selvas,

pastizales y amplias zonas agrícolas en la porción media y baja de las cuencas. Ambas cuencas desembocan en el Golfo de México (Figura 1).

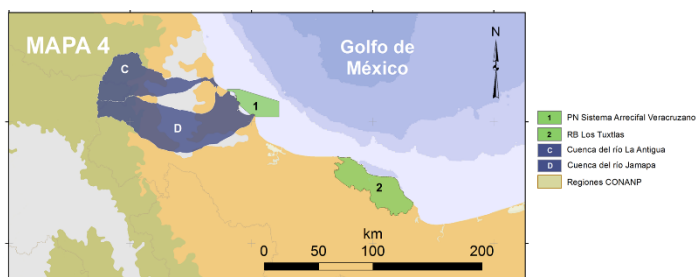


Figura 1. Área de estudio. Cuencas de los ríos Jamapa y Antigua.

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Adquisición y estructuración de la base de datos climática

Se consultaron las bases de datos climática ERIC III y CLICOM 2009 así como las bases disponibles de CLICOM 2012 en el propio sitio de internet del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Con la última base de datos se completó -en la medida de disponibilidad- datos los parámetros Temperatura Máxima, Temperatura Mínima y Precipitación acumulada en 24 hrs. más recientes (2006 a 2012). Los datos faltantes primero se completaron por regresión iterativa entre los meses adyacentes (Enero vs. Febrero; Febrero vs. Marzo) hasta que solo quedaron faltantes de estaciones por años incompletos (12 meses sin datos). Los modelos de regresión lineal obtenidos muestran valores aceptables de  $R^2$  ( $>0.69$ ) tanto para la serie de tiempo de temperaturas máximas mensuales de las estaciones consideradas como para las series de temperatura mínima mensual. Los datos faltantes de años completos, se obtuvieron como función promedio hasta por 5 años consecutivos (media móvil). Si la estación mostraba más de 5 años consecutivos sin ningún dato en alguno de los 3 parámetros se eliminaba del análisis a dicha estación.

### 2.2.2 Conjuntos espaciales y periodos de observación 1984-2012

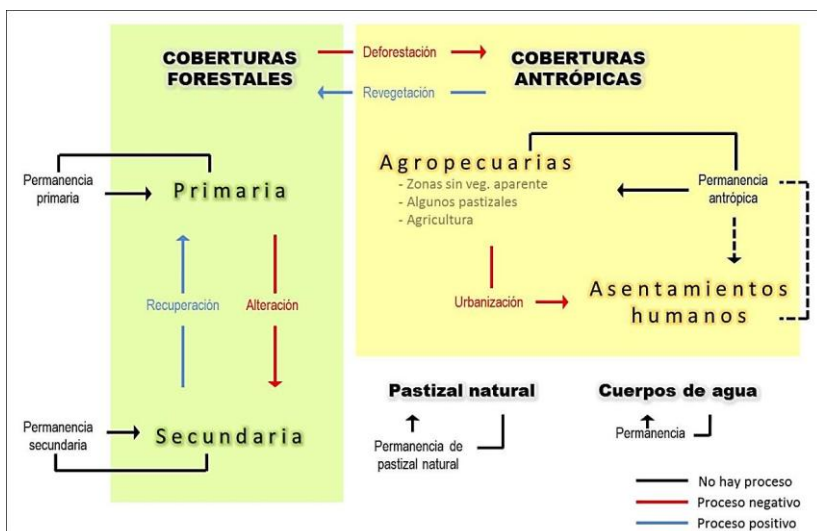
Se contó con los modelos digitales de elevación (MDE) con resolución 80 m provistos por USGS-NASA-SRTM (Jarvis *et al.* 2008), además de las distintas capas escala 1:250,000 disponibles: a) Carta de uso de suelo y vegetación a escala 1:250,000 de la serie III (INEGI, 2004) y la serie V (INEGI, 2012), b) Carta edafológica, c) Modelos vectoriales con la compilación denominada “marco geoestadístico nacional 2010” del proyecto Mapa Digital de México del propio INEGI y que incluye las capas temáticas de instalaciones para transporte, límites estatales y municipales, toponimia, localidades rurales y urbanas, infraestructura hidráulica y eléctrica y áreas naturales protegidas.

### 2.2.3 Análisis de cambio de uso de suelo y vegetación

El análisis de cambio de cobertura y uso del suelo (ACCUS) se realizó considerando el nivel jerárquico de comunidad. Velázquez *et al.* (2010) y Garibay y Bocco (2012) mencionan que el realizar el ACCUS con este nivel jerárquico ayuda a distinguir aquellas áreas que muestran un estado primario (coberturas forestales primarias y clases asociadas a vegetación secundaria arbórea), estado secundario (coberturas con asociación de vegetación secundaria arbustiva y



herbácea), estado terciario (coberturas agropecuarias y áreas sin vegetación aparente) y los asentamientos humanos. El modelo de los procesos de cambio de la cobertura y uso del suelo 2004-2012 se presenta en la Figura 2.



**Figura 2.** Modelo de los procesos de cambio de la cobertura y uso del suelo

#### 2.2.4 Modelo lluvia-escurrimiento

Con los registros hidrométricos y la distribución de la precipitación se pudo desarrollar un modelo empírico lluvia escurrimiento con relativamente buen ajuste polinómico para las cuencas Antigua y Jamapa. El modelo empírico desarrollado para las cuencas Antigua y Jamapa con información de al menos 60 años de observaciones, sirvió como base para el ajuste del modelo de la NOM-011-CONAGUA-2015 que establece la relación de la lluvia con el escurrimiento en nuestro país conforme el cálculo de un Coeficiente de escurrimiento. Este último se determina a partir de un valor preliminar (K) que depende del tipo y el uso del suelo en tablas asentadas en dicha Norma Oficial Mexicana.

Con el valor de K, el coeficiente de escurrimiento anual (Ce), se calcula mediante la fórmula:

$$Ce = K (P-250) / 2000 + (K-0.15) / 1.5$$

donde:

Ce= Coeficiente de escurrimiento

K= Valor preliminar para la estimación y que depende del tipo y uso del suelo

P= Precipitación anual en mm

La interpolación de los datos de precipitación mensuales del periodo 1983-2012 se realizó por el método IDW. La bondad del modelo de precipitación mensual utilizado radica precisamente en dos rubros.

#### 2.2.5 Bases de datos para escenarios de cambio climático

Con relación a los escenarios de cambio climático, los valores de entrada de precipitación y temperatura, para todas las cuencas, fueron descargados en archivos ráster de la UNIATMOS-CCA-UNAM para los años 2030, 2050 y 2080. Se usaron los denominados escenarios moderados A2 y B2 considerados como “pesimistas” (subfamilia A) y optimistas (subfamilia B) proporcionados por la UNIATMOS de la UNAM en su Atlas Climático Digital (Fernandez-Eguiarte *et al.* 2016) y disponibles en formato raster para las familias de escenarios moderados (subfamilias 2) corridos para Norte y Centroamérica con los modelos de circulación general *HADGEM1* y *MPIECHAM5*. Dichos escenarios de emisiones traducidos a valores de temperatura media y precipitación mensual se encuentran disponibles para las proyecciones a 2030, 2050 y 2080. De este último escenario solamente se encuentra disponible para la subfamilia A2 con el modelo de circulación general *MPIECHAM5*.

## 2.2.6 Análisis de tendencias de cambio climático

Se aplicó la prueba de Mann-Kendall para evaluar únicamente datos no estacionales e independientes (precipitación y temperatura mensuales) (Helsel and Hirsch, 1992). El objetivo de este análisis es conocer si existe y en qué medida ocurre un cambio en la variable hidrológica en un período de tiempo determinado. En una prueba de dos lados para tendencias, la hipótesis nula es rechazada en un nivel de significancia de  $\alpha$  si  $|Z| > Z(1-\infty/2)$ , donde  $Z(1-\infty/2)$  es el valor de la distribución normal que excede  $\alpha/2$ . Un valor positivo de  $Z$  indica una tendencia ascendente; un valor negativo indica una tendencia descendente en la serie de tiempo evaluada. En este trabajo las tendencias son identificadas a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ . La prueba estadística de tendencias  $Z$  es utilizada para indicar la tendencia significativa, pero no es una cuantificación de la magnitud de la tendencia (Hirsc *et al.*, 1993; Molnár y Ramírez, 2001).

## 4.9. Modelo de balance hídrico

La estimación del balance hídrico se realizó conforme el modelo de Thornthwaite y Mather, (1957); véase figura 3), en distintos años y ante distintas condiciones de escenarios de cambio climático. Se contó con datos vectorial de la red hidrológica y la capa de uso de suelo y vegetación, éste último se reclasificó según los requisitos del modelo de Coeficiente de Escurrimiento conforme a los criterios del procedimiento de la NOM-011-CONAGUA-2015.

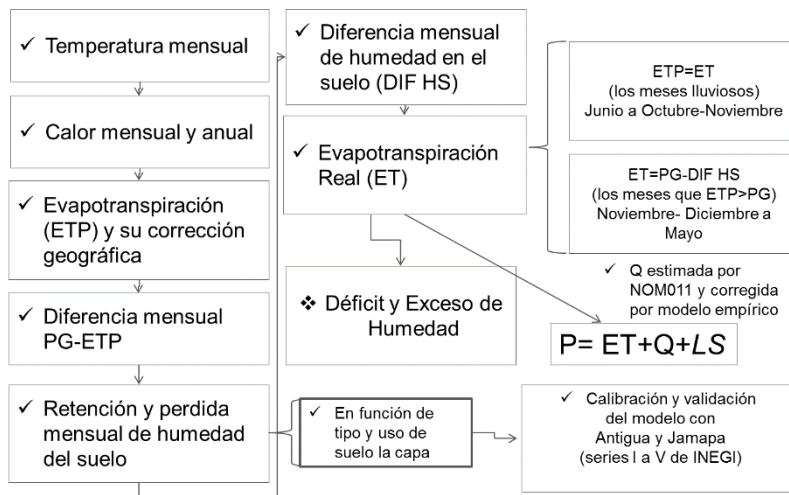




Figura 3. Esquema metodológico del proceso de estimación de balance hídrico en las cuencas costeras del golfo considerando el modelo de Thornthwaite y Mather (1957). ETP: evapotranspiración, PG: precipitación gruesa, LS: retención de humedad, Q: escurrimiento

### 3. Resultados

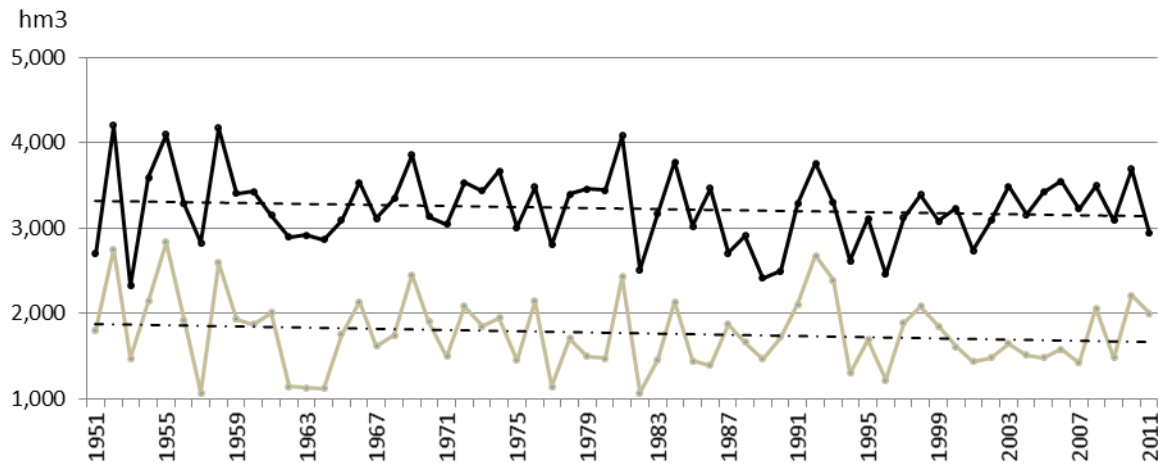
#### 3.1 Análisis de Cambio de uso de suelo y vegetación

El ACCUS en la cuenca Antigua indica que 51,576 ha (24% del área la cuenca) fue afectada por procesos negativos, de esta superficie, el 3% fueron terrenos cubiertos en 2004 con vegetación primaria, y en 2012 fueron transformadas a vegetación secundaria; el 95% de la superficie presentaba cobertura forestal pero desafortunadamente fue deforestada; y el 2% tenía un uso agropecuario pero los terrenos fueron urbanizados. Las coberturas y usos de suelo que han permanecido inalteradas en la Cuenca de La Antigua, suman una superficie de 126,984 ha (58% de la superficie de la cuenca), de las cuales el 83% corresponde a coberturas antrópicas, el 9% a cobertura forestal secundaria y el 8% a cobertura forestal primaria. Además, se estima que 39,158 ha de la cuenca fueron afectadas por procesos positivos; el 49% eran coberturas forestales secundarias que se transformaron a vegetación primaria; el 51% presentaba usos agropecuarios que fue cubierta por vegetación, como resultado del abandono de tierras.

El ACCUS en la cuenca Jamapa indica que 94,161 ha (24% de la superficie de la cuenca) fue afectada por procesos negativos. El 99% de dicha superficie sufrió pérdida de cobertura forestal con el objetivo de darle un uso agropecuario, el otro 1% sólo eran áreas que ya tenían uso agropecuario, pero en el 2012 fueron urbanizadas. La superficie que permaneció inalterada suma 270,831 ha (69% de la superficie de la cuenca), de esta superficie, el 89% se mantuvo con uso antrópico y el 11% se conservaron con cobertura forestal. Se estima que 27,196 ha de la cuenca (7% de la superficie) recuperaron cubierta vegetal, donde el 38% de dicha superficie, cambio de cobertura forestal secundaria a primaria y el 62% cambio de cobertura agropecuaria a coberturas forestales.

#### 3.2 Modelo lluvia-escurrimiento

La progresión anual continua sobre el eje de las abscisas y sobre el eje de las ordenadas los valores lluvia-escurrimiento en hectómetros (millones de metros cúbicos o  $\text{hm}^3$ ) muestra una alta correspondencia en cuanto al comportamiento general de las curvas generadas con la información disponible para ambas cuencas (Figuras 4 y 5). La línea en negro corresponde al volumen total anual de la precipitación total anual para la cuenca ( $\text{hm}^3$ ), y la línea gris corresponde a los volúmenes anuales registrados de las estaciones hidrométricas empleadas para este análisis (Cardel para la cuenca Antigua y Paso de Toro y El Tejar para la cuenca Jamapa) en virtud de su consistencia y periodo de observaciones. En ambos casos se muestra una línea punteada que muestra la tendencia histórica de los registros. A partir de estas relaciones se construyeron modelos polinómicos de mejor ajuste del comportamiento de la lluvia y el escurrimiento en estas dos cuencas. Así, en ambos casos se obtienen modelos con coeficientes de regresión ( $R^2$ ) mayores de 0.6 como se muestra en la figuras 6.



**Figura 4. Comportamiento general de la lluvia (modelada con interpolación IDW de registros puntuales) y el escurrimiento (medido en estación hidrométrica Cardel) para la cuenca Antigua de 1951 a 2011.**

### 3.3. Balance hídrico para escenarios de cambio climático.

Los resultados simplificados de cambio de Precipitación (P) y Evapotranspiración (ET) generados a partir de los escenarios optimista y uno pesimista moderados (B2 y A2) (Cuadro 1) indican la tendencia al incremento de la ET y reducción de la PP en futuro. Se debe aclarar que estas estimaciones no consideran un evidente cambio en el uso del suelo y la vegetación que es crucial en términos de balance hídrico por impactar de manera directa en dos aspectos: la capacidad de retención de humedad en el suelo, debido a la diferencias de desarrollo de los sistemas radiculares de la vegetación o de los cultivos y, en el sentido inverso, por aceleración de los procesos de escurrimiento al incrementarse los coeficientes de escurrimiento debido la pérdida de cubierta vegetal.

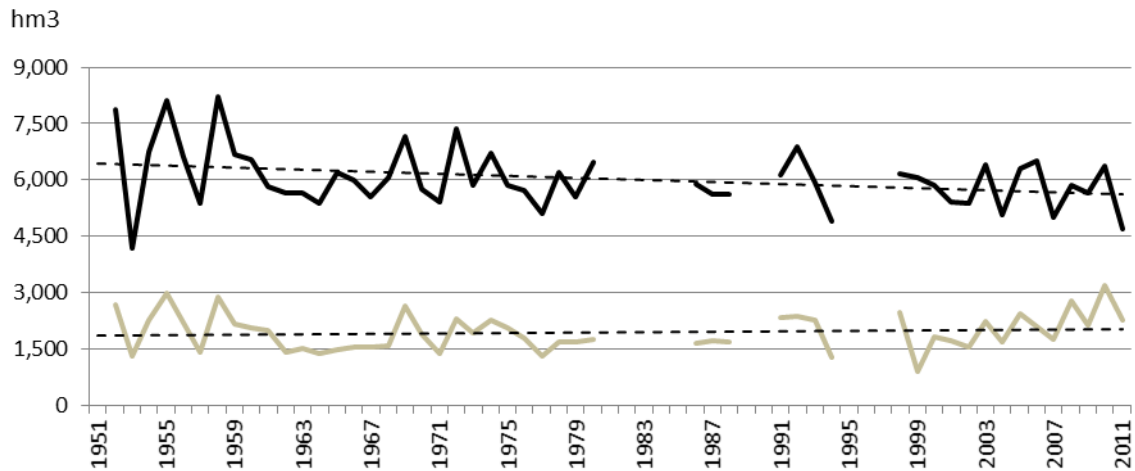


Figura 5. Comportamiento general de la lluvia (modelada con interpolación IDW de registros puntuales) y el escurrimiento (medido en las estaciones hidrométricas. Paso de Toro y el Tejar) para la cuenca Jamapa de 1951 a 2011.

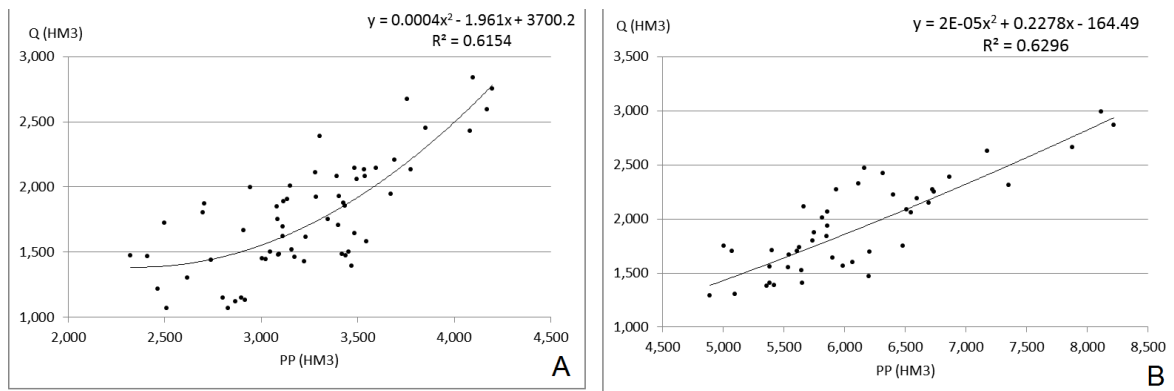


Figura 6. Modelo de regresión polinómica para la relación lluvia-escurrimiento modelado-observados en las cuencas A) Antigua 1951-2011 y B). Jamapa 1952-2008

Cuadro 1. Resultados generales de escenarios ante cambio climático en términos de precipitación y evapotranspiración en comparativa con escenarios base.





	ESCENARIOS BASE		MODELO HADGEM1				MODELO MPIECHAM5				
ET	PROM. 1950s-2011	PROM. 1904-2011	2030_A 2	2050_A 2	2030_B 2	2050_B 2	2030_A 2	2050_A 2	2030_B 2	2050_B 2	2080_A 2
Antigua y Jamapa	1010.0	986.1	1037.0	1077.0	1043.5	1091.5	970.3	1057.9	1022.3	1056.9	1154.5
PP	PROM. 1950s-2011	PROM. 1904-2011	2030_A 2	2050_A 2	2030_B 2	2050_B 2	2030_A 2	2050_A 2	2030_B 2	2050_B 2	2080_A 2
Antigua y Jamapa	1754.7	1491.4	1456.0	1400.1	1469.7	1455.7	1431.8	1383.1	1450.9	1423.4	1311.0

#### 5.10. Análisis de tendencias de cambio climático

Los valores del índice de Mann-Kendall (Z) calculados para la serie de precipitación indican que predominan las tendencias significativas a la reducción de este parámetro (Figura 7). Especialmente importantes son las reducciones de los valores de precipitación para los meses de mayo y junio, dado que estos meses son los característicos de la época de lluvias en la cuenca. Lo cual indica que menos agua entra al sistema. Con relación a las tendencias de cambio de las temperaturas máximas, resalta que existe un incremento de las mismas en la mayoría de las estaciones (Figura 8). La existencia de mayores temperaturas máximas en los últimos años, indica una mayor evapotranspiración, y en consecuencia, menor humedad en el sistema. La tendencia regional de cambio de las temperaturas mínimas en la cuenca no es clara. La tendencia de cambio regional en las temperaturas promedio de la cuenca tampoco es clara.

#### 4. Discusión y conclusiones

El ACCUS indica que sólo el 58% de la superficie de la cuenca del río Antigua se mantuvo sin cambios; la superficie alterada y deforestada (51,576 ha) fue mayor que la que se recuperó (39,158 ha). La cuenca del río Jamapa es un caso similar: la mayor superficie alterada y deforestada fue mayor (94,161 ha) a la que se recuperó (27,196 ha), sólo que para esta cuenca la situación es más preocupante porque es mayor la diferencia. En la cuenca del río Antigua las subcuencas localizadas en la porción inferior fueron las que presentaron más este cambio negativo. En la cuenca del río Jamapa la mayor deforestación se localiza en su porción media.

Los procesos de cambio tienen implicaciones en los procesos hidrológicos. Los procesos de degradación y de deforestación tienen implicaciones negativas. Estos cambios promueven una reducción de la infiltración, y en consecuencia un incremento en el escurrimiento. La reducción en la infiltración implica que menos agua está disponible para que las plantas realicen procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la transpiración, y la percolación que alimenta los mantos acuíferos disminuye, lo que puede abatir la profundidad de los mantos acuíferos. Un incremento en el escurrimiento implica que el agua al salir rápido del sistema, eventualmente promueve y/o acelera los procesos de erosión *in situ*, y deposición *ex situ*.

El modelamiento hidrológico con las series de tiempo indica claramente una reducción en el agua disponible en el sistema para cubrir las demandas las coberturas vegetales y de los usos de suelo agropecuario. Esto es debido básicamente a dos factores. Una reducción paulatina de las entradas de



**IV** CONGRESO  
NACIONAL

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

**2016**  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

agua por precipitación y un aumento de las salidas por evapotranspiración al incrementarse, principalmente las temperaturas máximas, como se observa en las pruebas de tendencias de cambio realizadas a los datos de las estaciones meteorológicas de las cuencas. Estos cambios en las variables meteorológicas han promovido la reducción del glaciar Jamapa del Pico de Orizaba; la reducción, aparentemente, ha favorecido el incremento del escurrimiento superficial; sin embargo, la fuente de agua del glaciar, desafortunadamente, se perderá definitivamente en el corto plazo y la cuenca del río Jamapa tendrá el mismo comportamiento que la del río Antigua.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO



Figura 7. Valores del Índice Z de la precipitación para las estaciones meteorológicas de las cuencas de Antigua y Jamapa.



Figura 8. Valores del Índice Z de la temperatura máxima para las estaciones meteorológicas de las cuencas de Antigua y Jamapa.



Es recomendable estudiar las tendencias de cambio de eventos máximos, especialmente en términos de precipitación, y temperaturas máximas diarias. Es recomendable elaborar escenarios de cambio en las condiciones hidrológicas, pero considerando escenarios de distribución futura de las coberturas vegetales y usos del suelo. De esta manera el modelamiento de las implicaciones de cambio en el balance hídrico incluiría los escenarios de cambio climático, pero además los distintos escenarios de distribución de las coberturas y uso del suelo; fortaleciendo los resultados del análisis.

## 5. Agradecimientos

Se agradece el apoyo de los fondos del *Kreditanstalt für Wiederaufbau* para la realización de esta investigación

## 6. Literatura citada

- Aparicio M.J., Lafragua C.J., Gutiérrez L. A., Mejía Z. R. y E. Aguilar G., 2006. *Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. Evaluación de los recursos hídricos*. PHI-LAC / Documento Técnico No. 4. UNESCO-IMTA. México. 95 pp.
- Badano, N., y Menéndez, A. 2010). Modelación hidrológica integrada de la región Noroeste de la cuenca del Salado del Sur. In *I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras* (pp. 1–8). Retrieved from [http://laboratorios.fi.uba.ar/lmm/congresos/Badanoetal\\_CIHLLA2010.pdf](http://laboratorios.fi.uba.ar/lmm/congresos/Badanoetal_CIHLLA2010.pdf)
- Dunne, T. y Leopold, L.B., 1978. *Water in Environmental planning*. W.H. Freeman and Company. San Francisco. 818 pp.
- Fernandez-Eguiarte A., J. Zavala-Hidalgo, R. Romero-Centeno 2016. Atlas Climático Digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/>
- Garibay, O.C. y G.V. Bocco, 2012. *Cambios de uso del suelo en la Meseta Purépecha (1976-2005)*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE). México, D.F. 44-51 pp.
- Helsel, D.R. & Hirsch, R.M., 1992. *Statistical Methods in Water Resources*, Elsevier, ISBN 0-444-81463-9, Amsterdam
- Hirsch, R. M., Helsel, D. R., Cohn, T. A., y Gilroy, E. J., 1993. Statistical analysis of hydrologic data, in: Maidment (ed.), *Handbook of Hydrology*. McGraw Hill, New York, pp. 17.1–17.55.
- Huang, J., Zhou, P., Zhou, Z., y Huang, Y., 2013. Assessing the influence of land use and land cover datasets with different points in time and levels of detail on watershed modeling in the North River Watershed, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(1), 144–57. doi:10.3390/ijerph10010144
- Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008. Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Landa, R, Carabaias, J. y Meave, J. 2007. Deterioro ambiental, una propuesta conceptual para zonas rurales de México. *Economía Sociedad y Territorio* 1 (2).



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Molnár, P. y Ramírez, J., 2001. Recent trends in precipitation and streamflow in the Rio Puerco Basin, *Journal of Climate* 14(10), 2317–2328.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015. Conservación del recurso agua. Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación. 27 de Marzo de 2015.
- Tang, L., Yang, D., Hu, H., y Gao, B. (2011). Detecting the effect of land-use change on streamflow, sediment and nutrient losses by distributed hydrological simulation. *Journal of Hydrology*, 409(1-2), 172–182. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.08.015
- Thornthwaite, C.W. y J.R. Mather, 1957. *Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and Water balance*. Publications in Climatology 10(3). Drexel Institute for Technology. Laboratory of Climatology. Centerton, New Jersey.
- Velázquez, A., E. Duran, A. Larrazábal, F. López y C. Medina, 2010. La cobertura vegetal y los cambios del suelo. En: Mendoza, M., A. Velázquez, A. Larrazábal, A. Toledo, (compiladores), 2010. *Atlas fisiográfico de la cuenca del Tepalcatepec*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 28-32 pp.





Extenso ID: 59. Silvia Chamizo-Checa <sup>a, b</sup>, Juan Suárez-Sánchez <sup>b</sup>, Alberto José Gordillo-Martínez <sup>a</sup>, César Abelardo González- Ramírez <sup>a</sup>, Luz María Hernández-Flores <sup>a</sup>, Elena María Otazo-Sánchez <sup>a</sup>. ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL Y FUTURA DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Doctorado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. [silchami@hotmail.com](mailto:silchami@hotmail.com)

<sup>b</sup> Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma del Estado de Tlaxcala. [jsuarezs71@hotmail.com](mailto:jsuarezs71@hotmail.com)

## Resumen

La Cuenca del Valle del Mezquital es una zona semiárida del estado de Hidalgo con precipitaciones acumuladas anuales muy bajas que oscilan entre los 400 y 500 mm. Con la finalidad de conocer las condiciones actuales y futuras de demanda de agua en la cuenca del Valle del Mezquital, se realizó el balance hídrico empleando el modelo de simulación de Evaluación y Planificación del agua (WEAP), para el año base 2005 y se generaron escenarios para el 2030 y 2050. Los escenarios consideran condiciones de crecimiento poblacional, expansión de zonas de riego e industrialización. Los resultados obtenidos muestran que la precipitación neta disponible para el año 2005, en la cuenca fue de 1780.6 hm<sup>3</sup>/año; de la cual, el 4.7% se infiltró (83 hm<sup>3</sup>), el 15.6% correspondió a escurrimientos (278 hm<sup>3</sup>) y el resto se evapotranspiró (79.8%). La intensa actividad agrícola de los tres distritos de Riego que se ubican en esta cuenca es sustentada por la importación de aguas residuales provenientes de la Ciudad de México. De acuerdo con la información de la base de datos del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), el volumen de agua concesionado para la Cuenca del Valle del Mezquital en el año 2005 fue de 1430.7 hm<sup>3</sup>. Del total de agua consumida en el valle, el sector agrícola demandó el 87% (1417.8 hm<sup>3</sup>), la actividad industrial consumió el 9.2% (149.4 hm<sup>3</sup>), el 3.45% (56.1 hm<sup>3</sup>) fue utilizada para uso doméstico y el 0.36% (5.8hm<sup>3</sup>) en el sector servicios. Los escenarios muestran que la demanda de agua para el año 2015 se incrementó en un 13%, para el 2030 aumentará un 36% y para el 2050 existirá un aumento de la demanda del 75%. Los sectores que contribuyen en mayor medida a incrementar las demandas de agua de la Cuenca del Valle del Mezquital son la agricultura (superficial) y la actividad industrial (subterránea).

Palabras clave: demanda de agua, simulación, escenarios y manejo

## I. Introducción

Uno de los problemas de las zonas ubicadas en regiones áridas y semiáridas es la escasez de agua. Algunos de los problemas que viven las personas que habitan estos lugares son precipitaciones irregulares, baja precipitación anual, y falta de suministros de agua. Además de lo anterior, la explotación excesiva de los recursos hídricos y la contaminación, hacen que la situación de tensión aumente para las generaciones futuras (Rezaian y Jozi, 2011 ).

El balance hídrico de una cuenca se calcula numéricamente analizando los cambios en el volumen de agua durante un periodo de tiempo determinado, en los diferentes componentes del ciclo hidrológico. La ecuación general de balance se basa en los principios de conservación de masas dentro de un sistema cerrado. La modelación hidrológica se ha convertido en un componente indispensable dentro de las investigaciones de balance hídrico dentro de una cuenca. Estos modelos ayudan a entender el estado actual y futuro de la



demanda y suministro de agua (Johnston and Smakhtin, 2014). El modelo de Evaluación y planificación del agua (WEAP) fue desarrollado por el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI) en 1974 y es un software excepcional de planeación de recursos hídricos que simula los comportamientos hidrológicos basados en datos de entrada de información hidroclimática. WEAP también permite al usuario construir escenarios de aumento de temperatura o de precipitación junto con suposiciones hacia la demanda de agua, la infraestructura y la regulación. Todas las actividades humanas pueden ser incorporadas en el modelo con el fin de predecir la escasez de agua en un periodo determinado (Al Omari *et al.*, 2009). Este modelo es espacialmente continuo e integra completamente la hidrología física, la demanda de agua, y la asignación prioritaria de los recursos hídricos; esta plataforma fue construida específicamente para apoyar las políticas de manejo y planificación del agua mediante la simulación de escenarios de oferta y demanda. Este modelo de simulación ha sido ampliamente utilizado en muchos países del mundo como son China, Estados Unidos de América, África, Egipto, India, Canadá y México (Yates *et al.*, 2005; Mehta *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2015). WEAP emplea un escritorio con diferentes objetos y procedimientos accesibles a través de una interfaz gráfica que puede ser usada para analizar un amplio rango de temas e incertidumbres a las que se ven enfrentados los planificadores de recursos hídricos, incluyendo aquellos relacionados con el clima, condiciones de la cuenca, proyecciones de demanda, condiciones regulatorias, objetivos de operación e infraestructura disponible. Para la ejecución del modelo se requiere una base de datos homogénea de información climática (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento), para cada una de las cuencas, que se encuentran divididas en diferentes tipos de cobertura vegetal/uso de suelo (Yates *et al.*, 2005). Esta investigación pretende analizar las demandas de agua de la cuenca del Valle del Mezquital con la finalidad de identificar las actividades que ejercen mayor presión sobre el recurso, así como generar escenarios de demanda al 2030 y 2050 incorporando elementos de crecimiento poblacional, expansión de zonas agrícolas e industrialización que permita generar información para la elaboración de planes y manejo de agua a escala local; así como determinar la dependencia que tiene esta cuenca a las importaciones de aguas residuales de la Ciudad de México.

## **II. Materiales y métodos**

### **2.1. Caso de estudio: Cuenca del Valle del Mezquital**

La cuenca del Valle del Mezquital se ubica dentro del límite sudoeste del estado de Hidalgo (latitud norte 20° 02' y longitud oeste 99° 15'). Está situado en lo alto de la meseta mexicana a 60 Km de la Ciudad de México. La superficie total que abarca esta cuenca es de 5045 km<sup>2</sup>, con una pendiente promedio del 15.8%, a una altura de 2040 metros sobre el nivel del mar. Geográficamente abarca 24 de los 84 municipios que conforman al estado de Hidalgo (Mendoza-Saldivar, 2009). En esta zona se localizan dos de los almacenajes más importantes del Estado de Hidalgo, la Presa Endhó y la Presa Requena (Figura 1). La corriente principal y que colecta los escurrimientos de los ríos secundarios de la cuenca es el Río Tula (Rodarte *et al.*, 2012).



Figura 1: Ubicación geográfica de la Cuenca del Valle del Mezquital, Hidalgo, México.

La transferencia de aguas residuales ha aumentado en más de un siglo y actualmente se transportan a través del Río El Salto y el Río Salado más de 1,660 hm<sup>3</sup> de aguas residuales provenientes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Espino, 2012). Bajo estas condiciones se ha estimulado la producción agrícola de los tres distritos de riego de la cuenca (Tula, Ajacuba y Alfajayucan). Los principales cultivos de estas zonas son la alfalfa verde, maíz grano, frijol, hortalizas y avena para forraje, entre otros. El riego por surcos (inundación) es el método principal de irrigación. Con respecto a la cobertura vegetal, el 49% corresponde a zonas agrícolas de temporal (22%) y de riego (27%), el 14% son zonas de pastizal, el 12.8% son áreas de matorral, 12.6% de bosque, 10.5% son asentamientos humanos y el resto de la superficie de la cuenca son cuerpos de agua (INEGI, 2010). La cuenca está habitada por 711,450 personas que consumen en promedio 5.6 hm<sup>3</sup> anuales de agua, y el consumo per cápita para el año 2005 fue de 80 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

## 2.2. Aplicación del modelo de simulación WEAP

### 2.2.1. Establecimiento de año base y escenarios:

El balance hídrico se realizó tomando como año base el 2005, los escenarios se generaron para los años 2030 y 2050 considerando una tasa de crecimiento medio anual para la población de 0.73 (CONAGUA, 2006), crecimiento promedio anual industrial del 2.5% (Montelongo *et al.*, 2015), y una expansión de zonas de riego específicas para cada cultivo de la cuenca, cuyos valores oscilan entre 0.87 y 1.93 (Ayala *et al.*, 2010).

### 2.2.2. Modelo esquemático

El trazado hidrológico de la cuenca se realizó teniendo como guía una capa de información hidrológica en formato vectorial y declarando las interacciones existentes en la zona de estudio (Figura 2). En este esquema es importante ubicar la infraestructura física de aprovechamientos de agua superficial y subterránea (Metha *et al.*, 2013).



### 2.2.3. Bases de datos

a) Condiciones climáticas: Los datos de precipitación pluvial, temperatura máxima y mínima para el año base 2005, se obtuvieron de la información existente en quince estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la Cuenca, empleando programa de Extracción Rápida de Información Climatológica (ERIC III, versión 2.0). Con la información obtenida se calcularon promedios mensuales de temperatura y precipitación mensual acumulada.

- La precipitación efectiva se determinó empleando la ecuación de porcentaje fijo de la FAO

$$Pe = a * Pt \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

$Pe$             precipitación efectiva  
 $a$              Constante (tiene valores entre 0.7 y 0.9)  
 $Pt$             Precipitación acumulada mensual

- La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) se calculó a partir de la ecuación de Penman-Monteith de la FAO, que es un método estandarizado para el cálculo de la ET<sub>o</sub>. La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento (Majidi et al., 2015).

## III. Resultados

### 3.1. Año base 2005:

La cantidad anual de agua que precipitó sobre la cuenca en el año 2005, fue de 1587 hm<sup>3</sup>, de los cuales el 16% corresponden a escurrimientos, 5% se infiltra y el resto se evapotranspira (79%). La recarga natural anual que incluye a los escurrimientos e infiltración fue de 327 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>. El consumo total de agua en la cuenca del Valle del Mezquital para el año base 2005 fue de 1430.7 hm<sup>3</sup>, de los cuales el 82% es empleado para riego de zonas agrícolas (Figura 2). El consumo de agua subterránea (234 hm<sup>3</sup>) fue superior a la infiltración (Figura 2), lo cual indica que desde el año 2005 existe sobreexplotación de agua subterránea en el área de estudio.

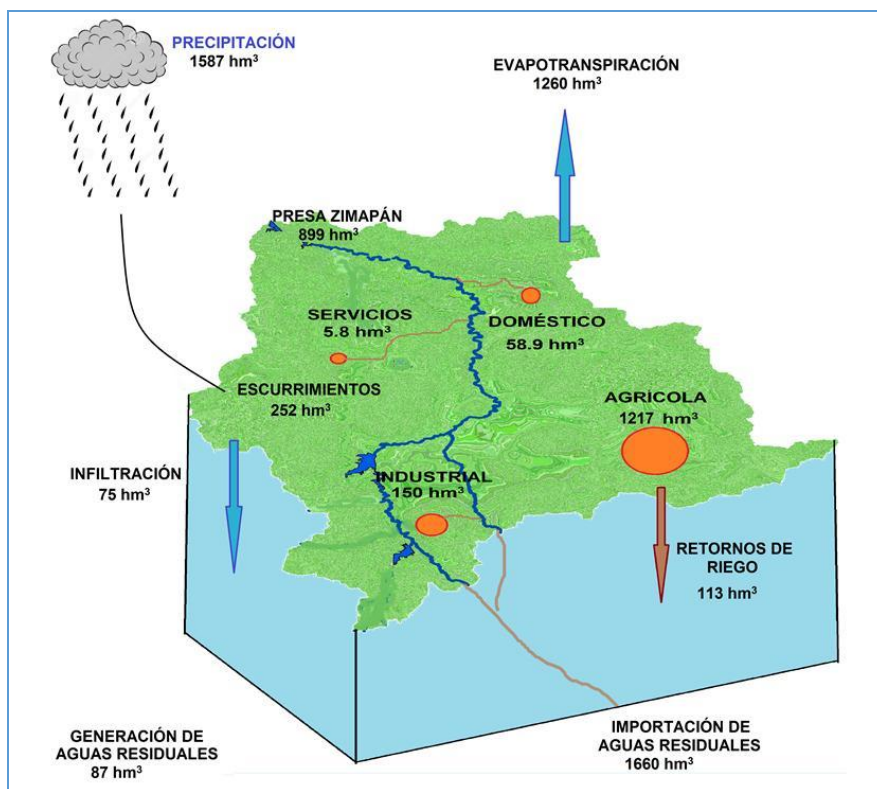


Figura 2. Balance hídrico de la cuenca del Valle del Mezquital

De igual forma, los escurrimientos son insuficientes para cubrir las demandas de agua superficial (1430 hm<sup>3</sup>), y para satisfacer los requerimientos de agua en la zona resultó necesario utilizar las importaciones de aguas residuales de la Ciudad de México. Otro beneficio importante de la utilización de estas aguas residuales son las aportaciones a la recarga de agua subterránea, ya que los retornos por agua de riego son mayores a la infiltración por agua de lluvia, lo cual ayuda a sobrellevar las condiciones de sobreexplotación de agua (Figura 2).



Figura 3. Suministro anual de agua para los cuatro sectores de la Cuenca del Valle del Mezquital



De los cuatro sectores que consumen agua de la cuenca del Valle del Mezquital, es notorio que el sector agrícola es quién ejerce mayor presión sobre el recurso hídrico, seguido de la actividad industrial y posteriormente el sector doméstico (Figura 3).

### 3.2. Condiciones actuales

En el año 2015 las demandas de agua correspondieron a 1615 hm<sup>3</sup>, lo que representa un incremento del 13%, estos datos coinciden con la información de la bases de datos del REPDA de la CONAGUA, y sirvieron de base para realizar la calibración de la plataforma de simulación.

### 3.3. Escenarios de demanda de agua al 2030 y 2050

Los escenarios muestran que el consumo de agua en la Cuenca del Valle del Mezquital se incrementara en un 36% para el año 2030, es decir, el suministro de agua requerido será de 1946 hm<sup>3</sup>, mientras que en el año 2050 el consumo de recurso hídrico será de 2504 hm<sup>3</sup>, es decir existirá un incremento del 75% (Figura 4).

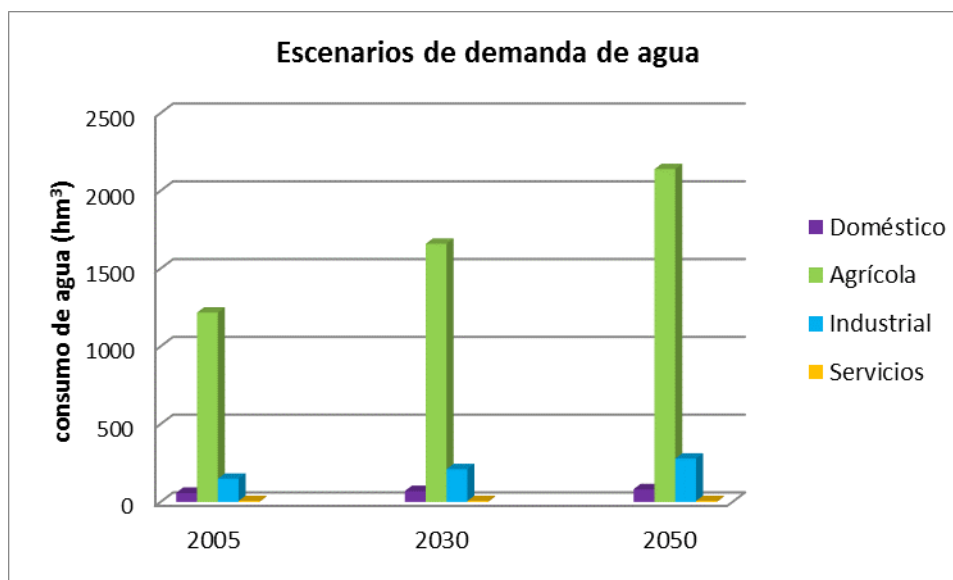


Figura 4. Escenarios de consumo de agua en el periodo de estudio: 2005, 2030 y 2050.

La cantidad de agua subterránea requerida en el 2050 será mayor a los 400 hm<sup>3</sup>, estos valores provocarán que la cuenca continúe presentando condiciones de sobreexplotación; y que se importe mayor cantidad de agua ya que las importaciones actuales serán insuficientes. Considerando que se mantienen los valores de infiltración y los retornos por agua de riego, el agua subterránea cubrirá únicamente las demandas del sector doméstico y una parte del sector industrial, haciendo imposible la utilización de agua subterránea para la agricultura.

## IV. Conclusiones

Los resultados del balance hídrico muestran que en la Cuenca del Valle del Mezquital existe escasez de agua desde el año 2005; en gran medida las demandas de agua son cubiertas por las importaciones de aguas residuales de la Ciudad de México, ya que en la zonas de regadío se emplean 900 hm<sup>3</sup> anuales, que representan el 63% del agua total suministrada en la cuenca. Si en algún momento disminuyera la cantidad de



aguas residuales que la Ciudad de México envía al Valle del Mezquital, aumentaría la escasez de agua superficial y subterránea en la zona, ya que el 60% la recarga total del agua subterránea de la cuenca proviene de la infiltración por aguas de riego y únicamente el 40% corresponde a infiltraciones por agua de lluvia. Sin duda alguna, la escasez de agua es característica de las zonas semiáridas, debido a la prevalencia de precipitaciones anuales muy bajas, temperaturas elevadas y extensas zonas agrícolas que favorecen la evapotranspiración. Así mismo, la infiltración de agua de lluvia es poco favorecida por la escasa vegetación que existe en la zona (12.6% de área de bosque).

Con respecto a las demandas de agua subterránea, es la actividad industrial la que extrae mayor cantidad de agua, seguida del sector doméstico, ante esta situación se hace necesario implementar estrategias de reducción de fugas de agua en las tuberías principales y evitar desperdicios en las viviendas. Los escenarios muestran que en el año 2015 el consumo de agua importada se ha incrementado en un 10% y que las condiciones de crecimiento poblacional, incremento de zonas industriales y expansión de zonas de riego, provocarían que existan demandas no cubiertas de agua en la cuenca en el 2030 y menos aún en el año 2050.

Siendo el sector agrícola el que consume el 63% del total de agua suministrada en la cuenca, resulta necesario realizar cambios en los sistemas de riego de la zona para hacer más eficiente el uso del recurso hídrico. Sin embargo, aún es necesario evaluar el efecto que tendrán estos cambios para incrementar la disponibilidad de agua en la Cuenca de estudio.

## V. Literatura citada

- Al-Omari, A., Al-Quraan, S., Al-Salihi, A. & Abdulla, F. 2009. A Water Management Support System for Amman Zarqa Basin in Jordan. *Water Resources Management*, 23, 3165-3189.
- Ayala Garay, A. M., Sangerman Jarquin, D., Schwentesius De Rindermann, R., Damían Huato, M. A. & Juárez Rivera, C. 2010. <Fortalecimiento de la competitividad del sector agropecuario en Hidalgo.pdf>. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1:2, 233-245.
- Barrios-Castillo, I. M. 2014. <Calidad de aguas naturales y residuales en el sistema hidrográfico del Valle del Mezquital, Hidalgo México>. *COLPOS*, 1 - 155.
- CONAGUA. 2006. Estadísticas del agua 2006, Región XIII, Agua del Valle de México y Sistema Cutzamala. SEMARNAT. ISBN:968-817-769-5
- Espino, E. 2012. Obras de saneamiento y reúso de agua residuales en el Valle de México Avances y tareas pendientes *CONAGUA*.
- Esqueda, G. S. T., Ospina-Norena, J. E., Gay-García, C. & Conde, C. 2011. Vulnerability of water resources to climate change scenarios. Impacts on the irrigation districts in the Guayalejo-Tamesi river basin, Tamaulipas, Mexico. *Atmosfera*, 24, 141-155.
- Fricke, K. 2014. *Analysis and Modelling of Water Supply and Demand Under Climate Change, Land Use Transformation and Socio-Economic Development*, London



- Hamlat, A., Errih, M. & Guidoum, A. 2013. Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 2225-2236.
- Harma, K. J., Johnson, M. S. & Cohen, S. J. 2012. Future Water Supply and Demand in the Okanagan Basin, British Columbia: A Scenario-Based Analysis of Multiple, Interacting Stressors. *Water Resources Management*, 26, 667-689.
- Hanson, R. T., Lockwood, B. & Schmid, W. 2014. Analysis of projected water availability with current basin management plan, Pajaro Valley, California. *Journal of Hydrology*, 519, Part A, 131-147.
- Hoff, H., Bonzi, C., Joyce, B. & Tielborger, K. 2011. A Water Resources Planning Tool for the Jordan River Basin. *Water*, 3, 718-736.
- Hollermann, B., Diekkruiger, B. & Giertz, S. 2009. Assessment of the current and future water balance of the Oueme catchment (Benin, West Africa) for an integrated water-resources management by using the WEAP water planning model. *Hydrologie Und Wasserbewirtschaftung*, 53, 305-315.
- INEGI 2009. Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250,000. Aguascalientes, Mex. Ed. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI 2010. Documento Técnico Descriptivo de la Red Hidrográfica. In: AMBIENTE, D. G. D. G. Y. M. (ed.)
- Johnston, R. & Smakhtin, V. 2014. <Hydrological Modeling of Large river Basins: How Much is Enough?>. *Water Resources Management*, 28, 2695-2730.
- Li, Y. & Yang, Z. 2010. Network structure analysis for environmental flow toward sustainable water use. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1737-1744.
- Majidi, M., Alizadeh, A., Vazifedoust, M., Farid, A. & Ahmadi, T. 2015. Analysis of the Effect of Missing Weather Data on Estimating Daily Reference Evapotranspiration Under Different Climatic Conditions. *Water Resources Management*, 29, 2107-2124.
- Martínez-Menes, M., Fernández-Reynoso, D. & Salas-Martínez, R. 2007. Hidrología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas. In: SAGARPA (ed.). México, D. F. : COLPOS.
- Mendoza-Saldivar, I. 2009. Calidad de las agua residuales que urbano-industriales que riegan el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Doctorado en Hidrociencias, COLPOS*.
- Mehta, V. K., Aslam, O., Dale, L., Miller, N. & Purkey, D. R. 2013. Scenario-based water resources planning for utilities in the Lake Victoria region. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 61-62, 22-
- Rezaian, S. & Jozi, S. A. 2011. Water Consumption Management using WEAP&Conceptual Models (Case study: Golestan Province – Iran). *2nd International Conference on Environmental Science and Development IPCBEE*, 4.
- Rodarte-García, R., Galindo-Escamilla, E., Díaz-Pérez, F. & Fernández-Fernández, G. L. 2012. Gestión del agua y reconstrucción de la naturaleza en El Valle del Mezquital. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.
- Sánchez, I., Esquivel, G., Bueno, P., López, R. & M., R. 2012. Uso del modelo WEAP para la modelación de procesos como fundamento para la toma de decisiones en cuencas hidrológicas. *Educación y Asistencia Técnica-Agrofaz*.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D. & Huber, L. 2005. WEAP21 – A Demand-, Priority-, and Preference Driven Water Planning Model. Part 1: Model Characteristics. *International Water Resources Association*, 30-4.



Extenso ID: 168. M. Lourdes González-Arqueros<sup>a</sup>, Manuel E. Mendoza<sup>b</sup>. ESTIMACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA COMO FACTOR CLAVE EN EL MARCO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

[Regresar al índice](#)

<sup>ab</sup> Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, 58190, Morelia, Michoacán,

<sup>a</sup>lourdes.gonar@gmail.com, <sup>b</sup>mmendoza@ciga.unam.mx

## RESUMEN

Actualmente, las complejas características climáticas y geomorfológicas del país promueven la erosión hídrica en una gran parte de su territorio. Existe una susceptibilidad a la erosión en las cuencas prioritarias nacionales, la cual está asociada a procesos geomorfológicos, como la erosión, en los que el factor climático actúa como catalizador de dichos procesos. El suelo se considera el mayor sumidero de carbono del planeta, por lo que la erosión del mismo, no solo afecta a la pérdida del recurso natural en sí, sino que también contribuye con un efecto negativo sobre el cambio climático. Los pronósticos de cambio climático predicen un aumento de la susceptibilidad a presentar niveles elevados de erosión hídrica. Este trabajo tiene como objetivo principal determinar cuantitativamente la pérdida de suelo por procesos hídricos de erosión y el diagnóstico del riesgo a la erosión hídrica del suelo en México, desde el enfoque de la mitigación y adaptación al cambio climático, estudiando la relación suelo-cambio climático. A través del modelo WEPP, un modelo basado en fundamentos físicos básicos de hidrología y erosión para predecir la erosión hídrica, con capacidad de simular la distribución espacial y temporal de la pérdida de suelo, y su interfaz geoespacial GeoWEPP se estimó la pérdida de suelo y la escorrentía superficial en el Valle de Teotihuacán para tres escenarios: 1) condiciones actuales, 2) condiciones más húmedas que las actuales, 3) condiciones más secas que las actuales. El Valle de Teotihuacán, en el centro de México, se encuentra dentro del área de las reconstrucciones climáticas para periodos prehispánicos, lo que ofrece información de fluctuaciones climáticas acontecidas. Se obtuvieron resultados a través de la comparación y análisis de los escenarios planteados y se realizó una valoración de cómo afectarían los cambios en la precipitación asociados al cambio climático a la degradación del paisaje. Las estimaciones a través de modelos pueden ofrecer la ventaja de obtener resultados relativos con bajo costo, a partir de los cuales tomar medidas específicas.

**Palabras clave:** pérdida de suelo, escorrentía superficial, erosión acelerada, escenarios de cambio climático.

## 1. IntroducCión

La relación entre el cambio climático y la erosión hídrica del suelo es compleja. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el calentamiento global se podría agravar a medida que se erosionan los suelos, debido a que los suelos son el mayor sumidero terrestre de carbono. Por una parte, se prevé un aumento en las temperaturas en algunas áreas, lo cual desencadenaría una aridización de los ambientes, convirtiéndolos en más vulnerables a la pérdida de suelo. Y por otra parte, en otras áreas los patrones de lluvias de se verían afectados con un incremento en las precipitaciones más intensas, elevando el riesgo a la erosión de zonas vulnerables. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático apunta a una mitigación del cambio climático mediante la intervención humana, con el objetivo de reducir las fuentes de





emisión de carbono e incrementar los sumideros; asimismo, recomienda la adaptación al cambio climático mediante un proceso de ajuste al clima real o proyectado, teniendo en cuenta sus efectos. Situando a la erosión de los suelos como elemento clave en la mitigación y adaptación al cambio climático.

Estudios reportan que durante el siglo XX se ha registrado una disminución de la precipitación en las latitudes 10°S y 30°N, en la zona donde México se encuentra, y un aumento en la frecuencia de fenómenos de precipitación intensa (Bates et al., 2008). Un aumento en la cantidad o intensidad de precipitación produciría un aumento en la erosión del suelo, con efectos indirectos relacionados a cambios en la vegetación debido a las medidas de adaptación a la creciente erosión.

Actualmente, las complejas características climáticas y geomorfológicas del país promueven la erosión hídrica en una gran parte de su territorio. Existe una susceptibilidad a la erosión en las cuencas prioritarias nacionales, la cual está asociada a procesos geomorfológicos en los que el factor climático actúa como catalizador de dichos procesos. De manera que la erosión del suelo, no solo afecta a la pérdida del recurso natural en sí, sino que también contribuye con un efecto negativo sobre el cambio climático.

A través de la elaboración de estudios que integren el clima, el relieve, el suelo y la cobertura vegetal a escala regional, es posible detectar las zonas susceptibles de erosión y elaborar recomendaciones con el fin de implementar las medidas pertinentes para prevenir, disminuir y mitigar la degradación del territorio. Nearing et al. (2004) en una revisión sobre los impactos de cambio climático en las tasas de erosión, destacan que los datos generados a partir del uso de modelos de predicción de erosión del suelo es una práctica fuertemente extendida como metodología y aporta datos valiosos para su evaluación.

En este proyecto se usa como base de la generación de datos el modelo WEPP. Este modelo se basa en fundamentos físicos básicos de hidrología y erosión para predecir la erosión hídrica y tiene la capacidad de simular la distribución espacial y temporal de la pérdida de suelo (Flanagan and Nearing, 1995; Laflen et al., 1991). GeoWEPP es la interfaz geoespacial para WEPP (Flanagan et al., 2013; Renschler, 2003) y se desarrolló con el propósito de integrar las características avanzadas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en WEPP, tales como procesar fuentes de datos digitales y generar datos de salida digitales para una escala de cuenca (Renschler et al., 2007). Los resultados permiten ver la localización de la producción de la erosión y del depósito de sedimentos a través del tiempo (Flanagan and Nearing, 1995).

El objetivo general de este estudio es determinar cuantitativamente la pérdida de suelo por procesos hídricos de erosión y el diagnóstico del riesgo a la erosión hídrica del suelo en México, desde el enfoque de la mitigación y adaptación al cambio climático, estudiando la relación suelo-cambio climático en el Valle de Teotihuacán para tres escenarios: 1) condiciones actuales, 2) condiciones más húmedas que las actuales, 3) condiciones más secas que las actuales.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Área de estudio

El área modelada (Fig. 1) se encuentra en el Valle de Teotihuacán, en el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano, en el centro de México, aproximadamente 50km al NE de la Ciudad de México, a una altitud entre 2280 y 3060 msnm. El valle consiste de una planicie aluvial de origen lacustre-fluvial rodeado por montañas volcánicas y flujos de lava. El clima es una transición entre semiárido (BS) y subhúmedo (C). La temperatura y precipitación promedio anual es de 15 °C y 560 mm, respectivamente (García, 1988). El valle presenta una

estacionalidad marcada en cuanto a la precipitación, el periodo de lluvias ocurre desde mayo hasta noviembre, con el 86.5% de la precipitación total. De acuerdo con Rzedowski et al. (1964) se distinguen cuatro zonas principales de vegetación: bosque en las laderas de las montañas, pastizal secundario y matorral xerófilo en los piedemontes y vegetación halófila en las zonas más bajas, actualmente la mayoría de la planicie aluvial y los piedemontes circundantes están cultivados. Los grupos predominantes de suelos son Cambisoles, Fluvisoles, Phaeozems y Leptosoles (INEGI, 1999). El uso actual del suelo incluye asentamientos y agricultura, los cultivos predominantes son la tuna (*Opuntia* sp.), maíz (*Z. mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), alfalfa (*Medicago sativa*) y granos pequeños como avena (*Avena sativa*) y cebada (*Hordeum vulgare*).

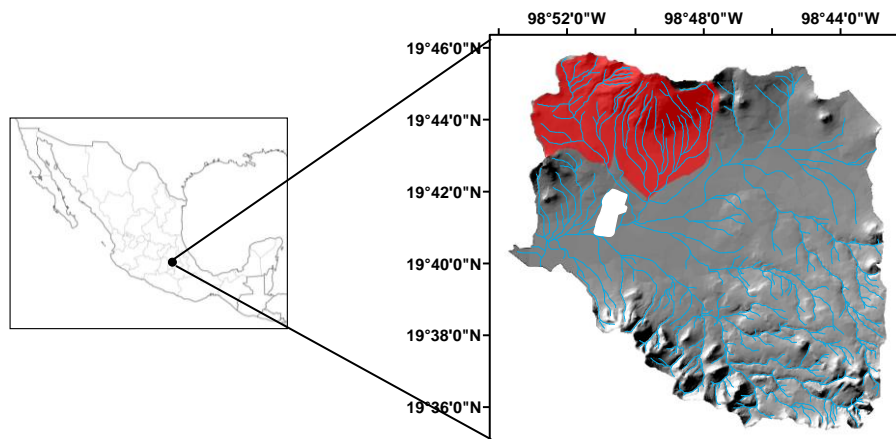


Figura 1. Valle de Teotihuacán (270 km<sup>2</sup>), en rojo el área de estudio (44km<sup>2</sup>). El perímetro blanco indica la zona arqueológica.

## 2.2 Métodos

Los archivos necesarios son clima, topografía, tipo de suelo y uso/manejo de suelo. Éstos se generan mediante *WEPP Model Version 2012.800* y los datos topográficos se parametrizan usando el modelo informático TOPAZ (TOPography PArameterIZation) (Garbrecht and Martz, 2000) basado en un modelo digital del terreno con una resolución de 15 m, procesado en ArcMap 10.1 (ESRI, Redlands, CA). TOPAZ utiliza dos parámetros clave para delinear los canales y el área de contribución, el *critical source area* (CSA) and *minimum source channel length* (MSCL). Después de un análisis topográfico con la red hidrográfica actual, se eligieron los valores de 5 hectáreas y 100 metros respectivamente para generar la red hidrográfica.

La aplicación GeoWEPP mapeó 50 años de simulación, generando estimaciones anuales de escurrimiento superficial y pérdida de suelo de los siguientes escenarios: 1) condiciones actuales, 2) condiciones más húmedas que las actuales, 3) condiciones más secas que las actuales.

### Clima

Para los archivos de clima se usaron los datos de precipitación media anual, número de días con lluvia y temperatura mínima y máxima anual consultados en CONAGUA para la estación climatológica San Martín de las Pirámides (00015097). Se recreó un archivo con un clima más seco que el actual y un archivo con un clima más húmedo que el actual. Para calcular los valores de precipitación de los periodos de clima húmedo y

clima seco se utilizó el índice de sequías Porcentaje de Precipitación Normal (PPN). Para ello se usaron los promedios anuales de los años más secos y de los años más húmedos de la estación climatológica Chapingo (00015170) con 81 años de registro, muy cercano al sitio de estudio. De este ejercicio se obtienen los valores de 900 mm para el periodo más húmedo que el actual, y 370 mm para el periodo más seco que el actual.

### *Topografía*

Para el archivo de topografía se creó el modelo digital del terreno (MDT) de 15 metros a partir de las curvas de nivel cada 10 metros de INEGI (2008) a escala 1:20000 (Fig. 1).

### *Suelo*

El archivo de tipo de suelo se generó a partir del mapa edafológico de INEGI de la hoja E14B21 Texcoco (INEGI, 1999), el cual también contiene información sobre la clase textural y capas limitantes de cada suelo (Fig. 2).

### *Uso y manejo de suelo*

La información para elaborar el mapa sobre uso de suelo y manejo actual se extrajo de los planes municipales de los municipios de Axapusco, San Martín de las Pirámides, Teotihuacán de Arista y Santiago Tolmán (Secretaría de Desarrollo Urbano. Gobierno del Estado de México, 2003) y de comunicaciones personales con agricultores de la zona. Los cultivos que se identificaron y se tomaron en cuenta fueron maíz y nopal (Fig. 2).

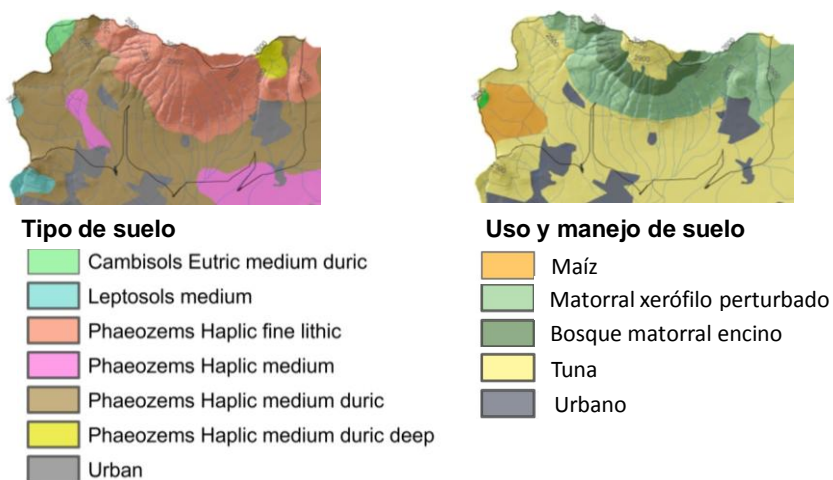


Figura 2. Tipo de suelo y uso y manejo de suelo del área de estudio.

## 3. Resultados

Los tres escenarios muestran grandes áreas con tasas bajas de erosión, siendo el escenario con condiciones más secas el que mayor área presenta, y el escenario con condiciones más húmedas el que menos área



presenta, ocurriendo de manera inversa para las tasas altas de erosión (Fig. 3, Tabla 1). Las estimaciones representadas gráficamente (Fig. 3) y clasificadas en base al porcentaje de área ocupada por clase de erosión de suelo (Tabla 1) muestran resultados similares para los tres escenarios. La resolución de los modelos podría haber excluido la detección de zonas de deposición, las cuales no se han incluido por representar menos del 1.4% en ninguno de los escenarios.

		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
		Actual		Condiciones más secas		Condiciones más húmedas	
		% del área de estudio					
Clase	t/ha/año		Total por clase		Total por clase		Total por clase
Baja	0-0.25	74.7	82.0	75.0	85.1	74.3	74.8
	0.25-0.5	0.2		5.8		0.1	
	0.5-0.75	3.5		4.3		0.2	
	0.75-1	3.5		2.4		0.2	
Moderada	1-2	5.0	8.6	4.7	7.5	5.3	11.7
	2-3	2.1		2.8		4.3	
	3-4	1.5		1.6		2.1	
Alta	>4	9.4	9.4	3.3	3.3	13.5	13.5

Tabla 1. Resumen de las tasas de erosión de suelo estimadas.

La erosión de suelo total y la tasa promedio de erosión por escenario (Fig. 4 izq.) muestran diferencias notables. La mayor pérdida de suelo se registra en el escenario con condiciones más húmedas que las actuales, seguido por las condiciones actuales, y el más bajo corresponde al escenario con condiciones más secas. En cuanto al escurrimiento superficial (Fig. 4 dcha.) sigue la misma tendencia que la erosión de suelo, siendo más alto en el escenario con condiciones más húmedas, seguida por las condiciones actuales, y por último, las condiciones más secas (Fig. 4).

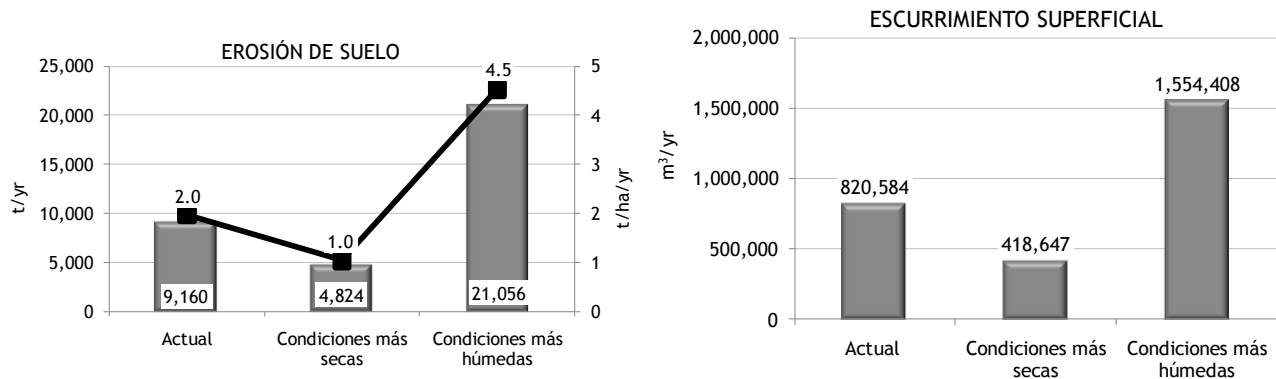


Figura 4. Simulaciones de los escenarios 1 a 3. Izq.: Erosión de suelo total (columnas, t/año) y promedio de tasa de erosión de suelo (puntos, t/ha/año). Dcha.: Escorrentamiento superficial.

#### 4. Discusión y conclusiones

Las graficas de las estimaciones de pérdida de suelo permiten reconocer las áreas más vulnerables de la zona de estudio. En este caso, las zonas que muestran tasas más altas en los tres escenarios se encuentran en las laderas donde se registran zonas con valores de pendiente mayor a 24%, por lo que se observa una estrecha relación entre erosión de suelo-pendiente. El uso de suelo en esta área es mayoritariamente bosque de matorral de encino en las laderas altas y matorral xerófilo perturbado en las laderas medias y bajas. Los valores más bajos de tasa de pérdida de suelo estimados se encuentran en zonas de menor pendiente, mayoritariamente superficie cumbral y piedemontes, con uso de suelo agrícola, predominantemente cultivo de nopal. El nopal es un cultivo que protege de la erosión al suelo debido a su carácter perenne, de rápido crecimiento y de rápido enraizamiento, con raíces normalmente profundas (Le Houérou, 1996). En este estudio, se pudo considerar que los suelos no son un factor determinante en la pérdida de suelo y comparación entre los escenarios propuestos; gran parte del área está ocupada por el mismo tipo de suelo Phaeozems, con texturas finas y contacto lítico en las laderas y con texturas medias y contactos duros (tepetate) en el piedemonte.

Las condiciones secas simuladas en este trabajo suponen una disminución de la precipitación del 34% en comparación a los valores actuales de precipitación, en este caso la erosión del suelo se vería disminuida en un 47% y el escurrimiento superficial disminuiría un 49% (Fig. 4). En cambio, en el escenario bajo condiciones más húmedas, el aumento de la precipitación supondría aproximadamente del 60%, y la erosión del suelo se vería incrementada en un 129%, mientras que el escurrimiento superficial se vería incrementado en un 89% (Fig. 4).

Los supuestos en las variaciones de la precipitación para este estudio se basan en datos de registros en la zona para los últimos 81 años. Está ampliamente documentado que durante los últimos 2000 años, el Valle de Teotihuacán ha sufrido épocas de sequía y épocas más húmedas que las actuales (Lachniet et al., 2012; Stahle et al., 2011). Por lo que implementando este estudio a proyecciones climáticas, las posibilidades de predecir cómo se comportará la erosión de suelo son viables. No obstante, existen otros factores que afectan a la erosión del suelo a parte de la cantidad de precipitación, por lo que los valores resultantes de las estimaciones en las proyecciones de cambio climático deben tomarse como valores aproximados para ser evaluados y usados en las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático.





Es importante tener en cuenta que una disminución en la precipitación, en lugar de disminuir la erosión del suelo, podría aumentar la pérdida del mismo, ya que probablemente se daría un cambio tanto en el tipo de uso de suelo, como el porcentaje de cobertura, lo que incidiría negativamente en los procesos hídricos de ladera (Nearing et al., 2004).

Este estudio demuestra que es necesario incrementar la información científico-técnica relacionada a la pérdida de suelo y al cambio de clima en México, y realizar estudios interdisciplinarios que promuevan el uso de las proyecciones de cambio climático en la recreación de escenarios mediante modelos de predicción de la erosión de suelos. Al respecto, la eficacia del uso de modelos ha sido comprobada a través de numerosas investigaciones internacionales; aun así, su aplicación en México es limitada.

## 5. Agradecimientos

El primer autor agradece a DGAPA-UNAM por la beca posdoctoral.

## 6. Literatura citada

- Bates, B., Kundzewicz, Z., Wu, S., Palutikof, J. (Eds.), 2008. *Climate Change and Water. IPCC Technical Paper VI*. IPCC Secretariat, Geneva.
- Flanagan, D., Frankenberger, J.R., Cochrane, T.A., Renschler, C.S., Elliot, W.J., 2013. *Geospatial application of the water erosion prediction project (WEPP) model*. Trans. ASABE. Am. Soc. Agric. Biol. Eng. 56, 591–601.
- Flanagan, D., Nearing, M. (Eds.), 1995. *USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP) Hillslope Profile and Watershed Model Documentation*, NSERL Repo. ed. National Soil Erosion Research Laboratory, USDA-Agricultural Research Service, West Lafayette, Indiana.
- Garbrecht, J., Martz, L., 2000. *TOPAZ: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parameterization: overview*, ARS-NAWQL 95-1, USDA-ARS. Durant, Oklahoma.
- García, E., 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Offset Larios, México.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1999. *Carta de Suelos E14B21 Texcoco*.
- Lachniet, M.S., Bernal, J.P., Asmerom, Y., Polyak, V., Piperno, D., 2012. *A 2400 yr Mesoamerican rainfall reconstruction links climate and cultural change*. Geology 40, 259–262. doi:10.1130/G32471.1
- Laflen, J.M., Lane, L.J., Foster, G.R., 1991. *WEPP A new generation of erosion prediction technology*. J. Soil Water Conserv. 46, 34–38.
- Le Houérou, H.N., 1996. *The role of cacti (Opuntia spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin*. J. Arid Environ. 33, 135–159. doi:10.1006/jare.1996.0053



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Nearing, M., Pruski, F., O'Neal, M., 2004. *Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review*. J. Soil Water Conserv. 59.
- Renschler, C.S., 2003. *Designing geo-spatial interfaces to scale process models: The GeoWEPP approach*. Hydrol. Process. 17, 1005–1017.
- Renschler, C.S., Doyle, M.W., Thoms, M., 2007. *Geomorphology and ecosystems: Challenges and keys for success in bridging disciplines*. Geomorphology 89, 1–8. doi:10.1016/j.geomorph.2006.07.011
- Rzedowski, J., Guzmán, A., Hernández Muñiz, C., 1964. *Cartografía de la vegetación de la parte norte del Valle de México*. An. la Esc. Nac. Ciencias Biológicas 13, 31–57.
- Secretaría de Desarrollo Urbano. Gobierno del Estado de México, 2003. *Planes municipales de desarrollo urbano* [WWW Document]. URL [http://seduv.edomexico.gob.mx/planes\\_municipales](http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales) (accessed 1.1.13).
- Stahle, D.W., Diaz, J.V., Burnette, D.J., Paredes, J.C., Heim, R.R., Fye, F.K., Acuna Soto, R., Therrell, M.D., Cleaveland, M.K., Stahle, D.K., 2011. *Major Mesoamerican droughts of the past millennium*. Geophys. Res. Lett. 38, L05703. doi:10.1029/2010GL046472



Extenso ID: 36. Luis Balcázara, Khalidou m. Bâa, Gabriel Gaonab, Francisco Magaña-Hernándezc.  
MODELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO UTILIZANDO UN MODELO DISTRIBUIDO EN UNA CUENCA DE LOS ANDES DEL SUR DE ECUADOR

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec s/n., C.P. 50100. Toluca, México, email: [lebalcazar@gmail.com](mailto:lebalcazar@gmail.com).

<sup>b</sup> Universidad Regional Amazónica IKIAM, Km 7 vía Muyuna, C.P. 150102. Tena, Ecuador.

<sup>c</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Zona de la Cultura, C.P. 86040. Villahermosa, México.

## RESUMEN

La modelación del proceso lluvia-escorrimento en cuencas hidrográficas es útil para resolver diversos problemas, entre los más comunes: el dimensionamiento de obras hidráulicas y la reconstrucción y generación de serie de datos. El objetivo principal de este estudio fue modelar los escurrimientos en una cuenca con condiciones climáticas extremas y con información meteorológica escasa. El área de estudio comprende la cuenca del río Boquerón, con superficie de aproximadamente 1130 km<sup>2</sup>, ubicada en el sur del Ecuador (centro de gravedad de cuenca, 4.269° S / 79.237° W). Se utilizó el modelo hidrológico *CEQUEAU* que requiere archivos extraídos a partir de: (i) un modelo numérico de altitud (MNA), (ii) una imagen de cobertura de suelo, (iii) datos de precipitación y temperatura y (iv) registros de caudal para la calibración. La calibración del modelo se realizó primero por prueba y error y luego por optimización.

En este estudio se usaron los datos meteorológicos existentes en la cuenca. A pesar de la escasez de dichos datos, se observa una coherencia entre los hidrogramas simulados y observados, y por otro lado los coeficientes de Nash han sido satisfactorios. Estudios en curso se está utilizando datos estimados por percepción remota (radar banda X, 500 x 500 m de resolución), esperando así tener a nivel diario una mayor representación de la precipitación.

**Palabras clave:** Modelación hidrológica, Modelo *CEQUEAU*, Calibración y Validación, depresión de Huancabamba.

## INTRODUCCIÓN

Los modelos hidrológicos son herramientas útiles para desarrollar proyectos relacionados con la planeación, el análisis de cantidad y calidad del agua escurrida, el pronóstico hidrológico (Bâ et al., 2013), la evaluación de procesos a varias escalas y cambio de uso de suelo (Plesca et al., 2012; Vázquez, 2010), la reconstitución y generación de series de datos y la estimación de caudales en lugares no aforados (Bâ et al., 2001; Llanos y Bâ, 2011), el balance de los procesos lluvia-escorrimento y en general a la gestión de los recursos hídricos (Refsgaard, 1997; Bâ et al., 2013). Actualmente, se ha generalizado el uso de modelos hidrológicos distribuidos, debido a que toman en cuenta la variabilidad espacio-temporal de las características físicas de la cuenca (Bâ et al., 2001). *CEQUEAU* es un modelo hidrológico de parámetros distribuidos que ha sido empleado en diferentes cuencas alrededor del mundo, además ha sido comparado con otros modelos

hidrológicos y evaluado dos veces por la Organización Mundial de Meteorología (OMM) en los que ha dado buenos resultados (Askew, 1989; WMO, 1994, 1986).

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El sur del Ecuador es considerado uno de los sitios más biodiversos del mundo (Richter et al., 2016). Aquí los Andes disminuyen su altitud por la depresión de Huancabamba. Esto origina condiciones climáticas y ecológicas muy diversas, diferentes al resto de la región andina. La modelación hidrológica se desarrolló en la cuenca Boquerón, parte alta de la cuenca Catamayo, también llamada cuenca Piscobamba-Arenal (centro de gravedad, 4.269° S / 79.237° W), tiene una extensión aproximada de 1130 km<sup>2</sup> y un rango de altitud entre 1175 y 3540 msnm (Figura 1). La precipitación varía según la altitud, en el valle de Catamayo, parte baja de la cuenca la precipitación anual es de ~ 400 mm y las cumbres de la cordillera de los Andes es alrededor de 4000 mm (INAMHI, 2006; Rollenbeck y Bendix, 2011).

Los suelos en la parte alta de la cuenca están cubiertos por vegetación de páramo, un tipo de arbustos achaparrados, que tiene una gruesa capa de materia orgánica (Aguirre-Mendoza et al., 2016; Buytaert et al., 2006; Hofstede et al., 2003; Lauer, 1981; Pourrut, 1995). En la cuenca boquerón el 4 % de la superficie corresponde a páramo, el 71 % a bosque, menos del 1% a cuerpos de agua y el 24 % restante corresponde a otro tipo de cobertura (Figura 2). En formato *CEQUEAU* el páramo ha sido categorizado como ciénegas, puesto que estas áreas por lo general pasan siempre húmedas y el tipo de cobertura “otros” se ha categorizado como suelo impermeable.

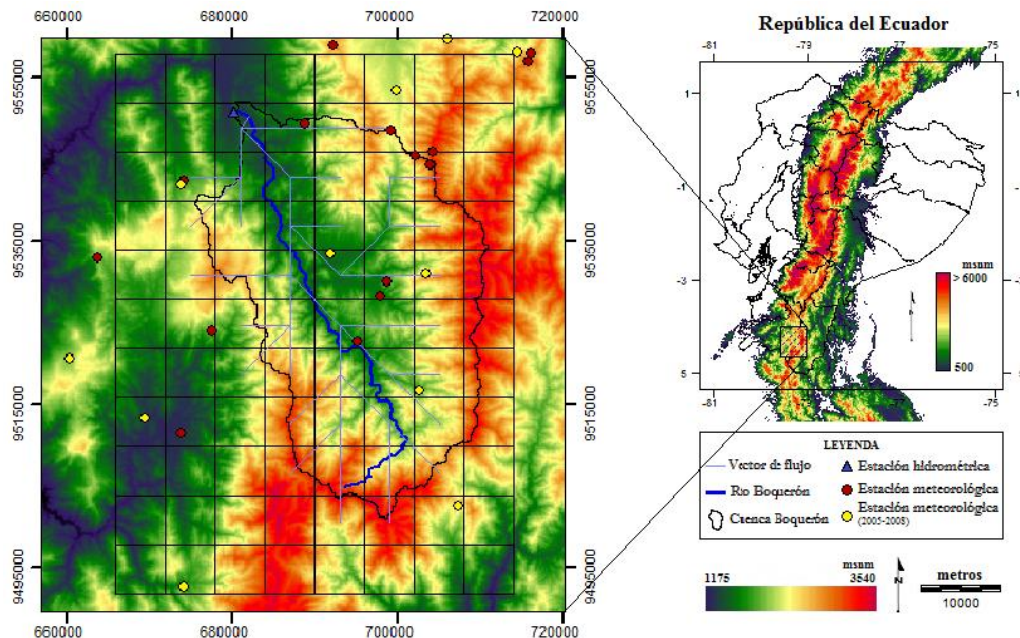


Figura 1. Ubicación de estaciones: hidrométrica y meteorológicas, vectores de flujo y discretización de la cuenca Boquerón sobre un MNA, UTM 17S, datum WGS84.

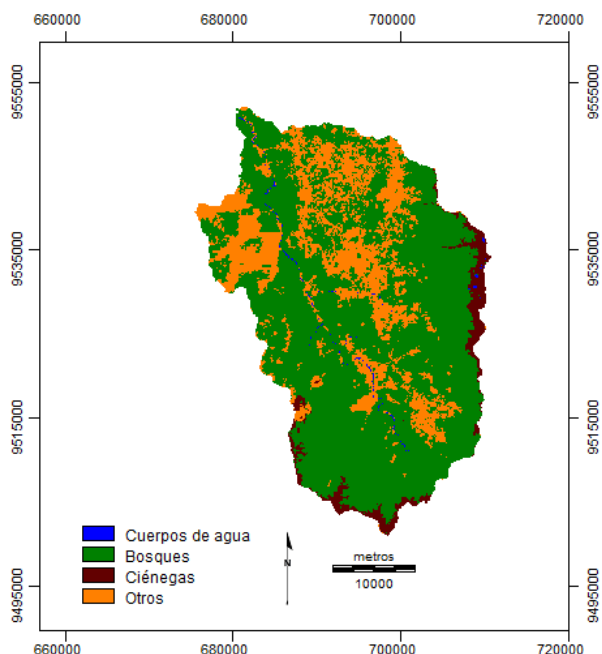


Figura 2. Mapa de suelos en formato CEQUEAU.

#### Modelo *CEQUEAU*

El modelo hidrológico *CEQUEAU* es de parámetros distribuidos, es decir, el área se divide o se discretiza en unidades homogéneas, en este caso cuadros  $n \times n$  con coordenadas  $(i, j)$ . En cada uno de los cuadros, el modelo toma en cuenta la variabilidad de las propiedades físicas de la cuenca, altitud, porcentajes de cuerpos de agua, bosques y ciénegas, además de las variables climáticas. La discretización de la cuenca Boquerón se hizo en cuadros de  $6 \times 6$  km, obteniendo un total de 46 cuadros que cubren la extensión de la cuenca (Figura 1). Cada cuadro actúa como un recipiente, en los cuales, físicamente el agua puede tener movimientos verticales y horizontales, además cada cuadro se puede dividir hasta en 4 subcuadros (Morin, 2009).

El modelo *CEQUEAU* tiene dos submodelos: (i) el modelo vertical, llamado función de producción, en el cual intervienen todos los movimientos verticales del agua: precipitación, evaporación, infiltración, etc. En la Figura 3A se muestra el esquema de la función de producción (fase líquida); (ii) el modelo horizontal o función de transferencia, es el movimiento del agua entre cuadros enteros o parciales, efectuado por las fuerzas gravitacionales y matriciales. El cuadro con más baja altitud recepta toda el agua que escurre superficialmente (Figura 3B).

De manera análoga a los recipientes que forman los cuadros en un plano horizontal, en un plano vertical, existen los recipientes suelo y subsuelo (función de producción, Figura 3A). Para diferenciarlos, estos últimos se nombran aquí como reservorios. Cada uno de los reservorios tienen parámetros que se deben calibrar y algunos dependen de las condiciones físicas de los suelos.





Para su funcionamiento, el modelo *CEQUEAU* requiere ciertos datos en ficheros de tipo texto: (i) fisiográficos, (ii) hidrometeorológicos, (iii) cuenca y (iv) parámetros que gobiernan el movimiento del agua en la cuenca.

Los archivos fisiográficos (extensión PHY) solicitados por el modelo *CEQUEAU* se generaron a partir de un modelo numérico de altitud (MNA) a 100 m de resolución espacial, obtenido del proyecto SRTM (Jarvis et al., 2008), utilizando un algoritmo compilado en el SIG Idrisi (Guerra-Cobián, 2007).

Utilizando el mismo utilitario de Guerra-Cobián (2007) se obtuvieron los parámetros de la cuenca Boquerón, algunos de ellos son requeridos por el modelo *CEQUEAU* (Cuadro 1).



Cuadro 1. Parámetros de cuenca.

Parámetro	Unidad	Valor
Área	Km <sup>2</sup>	1125.06
Elevación media	msnm	2212.32
Pendiente media	%	44.02
Perímetro	Km	208.40
Tiempo de concentración (Kirpich)	horas	7.08
Longitud del cauce principal	km	70.18

#### Datos hidrometeorológicos

Los datos meteorológicos que requiere el modelo *CEQUEAU* son precipitación media, temperaturas máximas y mínimas y registros de caudal para calibrar y validar el modelo. De un total de 28 estaciones meteorológicas, existentes en el área de estudio, 12 tienen datos concomitantes con los caudales en el periodo [enero 2005 a diciembre 2008] y de las cuales sólo 3 estaciones se ubican dentro de la cuenca Boquerón (Figura 1).

Los datos hidrometeorológicos son registros diarios del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI, datos hidrométricos y meteorológicos) y de la Estación Científica San Francisco (ECSF, datos meteorológicos).

Un fichero DHM contiene la ruta en disco de los datos hidrométricos y meteorológicos, con extensión CAU y MET, respectivamente. Los datos hidrometeorológicos fueron extraídos desde ficheros de texto y luego convertidos en formato *CEQUEAU*. Para optimizar este procesamiento se construyeron programas en lenguaje R que hace el arreglo requerido por el modelo.

#### Archivo de cuenca

Un fichero con extensión BV contiene la ubicación (i, j) del cuadro del exutorio (estación hidrométrica El Arenal en Puente Boquerón, h617) y el área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

#### Parámetros

El ajuste del modelo se realizó mediante ensayos por prueba y error y optimización utilizando el método de Powell (1964) que viene incorporado en el modelo *CEQUEAU*. Se realizaron 220 ensayos por prueba y error y 400 por optimización en la cuenca Boquerón. Los parámetros que se calibraron se muestran en la Figura 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..** En la fase de producción existen coeficientes, los cuales se reconocen por el prefijo “CV” y los niveles de agua en los reservorios empiezan con el prefijo “H”. Existen otros parámetros que dependen de la naturaleza de las variables climáticas, por ejemplo los índices (XAA y XIT) para estimar la evapotranspiración por el método de Thornthwaite modificado por Morin (2009).



El modelo *CEQUEAU* tiene un total de 28 parámetros que se tienen que calibrar para representar físicamente el escurrimiento, sin tomar en cuenta el agua de nieve, presas u otras infraestructuras hidráulicas. La calibración se hizo para todo el periodo [enero 2005 a diciembre 2008] y luego se dividió arbitrariamente los datos en 50 % para la calibración [enero 2005 a diciembre 2006] y 50 % para la validación [enero 2007 a diciembre 2008]. Para comprobar los caudales calculados con los observados se utilizaron criterios gráficos y numéricos. La inspección visual se hizo sobre los hidrogramas y a la vez una comparación de los valores del coeficiente de Nash y Sutcliffe (1970).

### Resultados

Se encontró que los parámetros más sensibles son aquellos que se relacionan con el vaciado rápido del agua (CVSI) y el coeficiente de infiltración entre el suelo y el subsuelo (CIN). Los valores altos de estos coeficientes hacen que los eventos de máximos de lluvia en la cuenca tengan una repuesta en el hidrograma simulado.

La Figura 4 muestra la lluvia diaria en promedio interanual en el periodo [enero 2005 a diciembre 2008]. En el hietograma se observa que la lluvia no supera los 18 mm/día. El periodo [octubre-noviembre a abril-mayo] son los meses que reciben más aportes de lluvia, mientras que el periodo relativamente “seco” se presenta en los meses de [junio a septiembre]. Por otro lado, los datos de caudal observados y calculados se muestran en las Figura 4B y Figura 4C. Los hidrogramas ajustados por prueba y error (Figura 4B) y optimización (Figura 4C) muestran coherencia durante el periodo [octubre-noviembre a abril-mayo], sin embrago no se simulan los picos de los máximos eventos. De la misma manera, para el periodo de mayo a octubre existen caudales pico observados que el modelo no los simula.

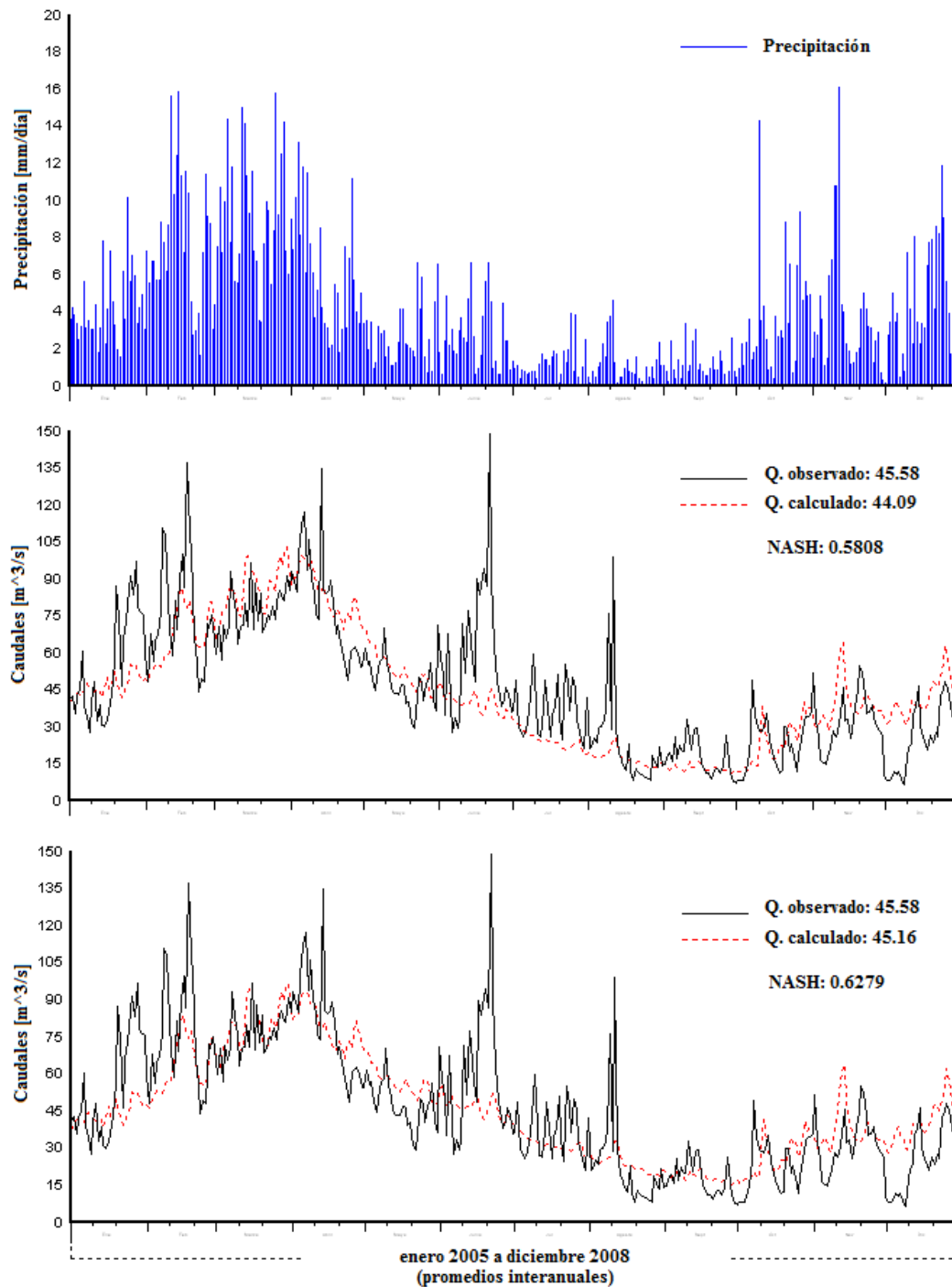


Figura 4. Gráficos con datos interanuales en el periodo [enero 2005 a diciembre 2008]: A) hietograma, B) hidrograma obtenido por prueba y error y C) hidrograma obtenido por optimización.

Para todo el periodo de simulación, el coeficiente de Nash en los ensayos por prueba y error fue de 0.5808, mientras que en los ensayos de optimización alcanzó 0.6279. Además, los criterios gráficos que se muestran en la Figura 6 se observa una buena relación de los caudales observados y calculados en todo el periodo seleccionado.

Debido a que los parámetros obtenidos por las pruebas de optimización, para todo el periodo, dieron mejores resultados, fueron retomados para un nuevo análisis en los periodos de calibración y validación establecidos anteriormente. Los coeficientes de Nash en el periodo de calibración [enero 2005 a diciembre 2006] y validación [enero 2007 a diciembre 2008] fueron de 0.4318 y de 0.4176, respectivamente (Figura 1Figura 5).

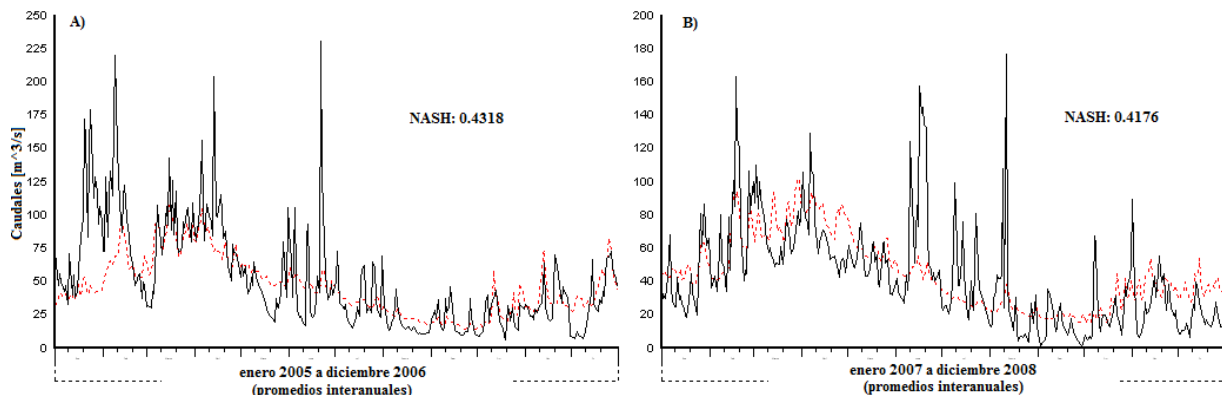


Figura 5. Hidrogramas: A) periodo de calibración [enero 2005 a diciembre 2006] y B) periodo de validación [enero 2007 a diciembre 2008].

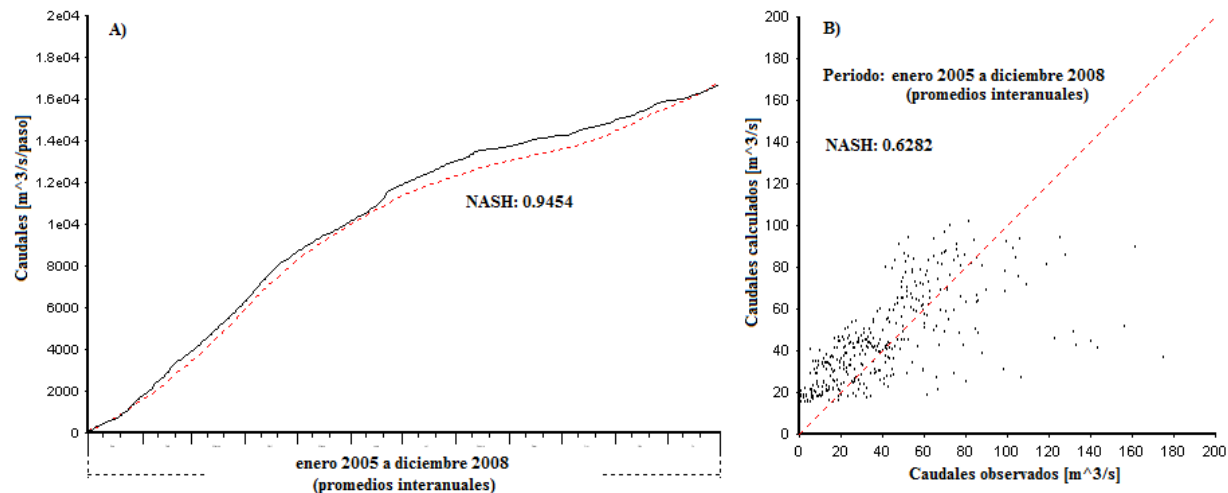


Figura 6. Gráficos con datos interanuales en el periodo [enero 2005 a diciembre 2008]: A) caudales acumulados y B) diagrama de dispersión (caudales observados versus calculados).

### Discusión y Conclusiones

En la Figura 7 se muestran los hietogramas de 6 estaciones que se ubican a diferente altitud (dentro y alrededor de la cuenca Boquerón). Al este y sur de la cuenca, en la cordillera de los Andes, las



precipitaciones son relativamente frecuentes. Por el contrario, en las partes bajas, la lluvia tiene un periodo estacional en los meses de noviembre a abril y con picos más pronunciados, formados por lluvias convectivas. La precipitación anual en el periodo 2000 a 2008 es (El Tiro = 1430, La Argelia = 970, Tapichalaca = 3500, Malcatos = 900 mm, Cariamanga = 1450 y Yangana = 1200 mm). Las estaciones que se ubican en las laderas de la cordillera de los Andes reciben mayor precipitación, por ejemplo la estación Tapichalaca, El Tiro y Cariamanga, a diferencia de las estaciones Malacatos y La Argelia que ubican en los valles y reciben menor precipitación.

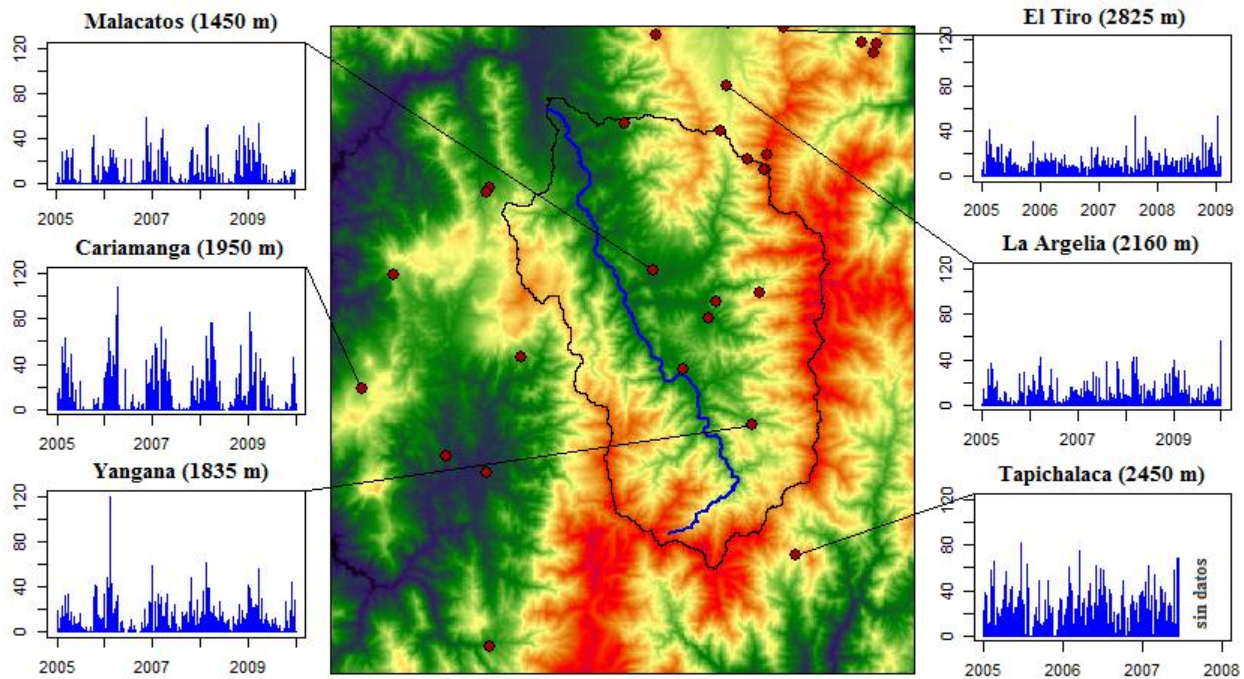


Figura 7. Precipitación observada en 6 estaciones ubicadas a diferente altitud, unidad en msnm.

Rollenbeck (2006) menciona que la precipitación máxima en las estribaciones de la cordillera de los Andes del sur de Ecuador es alrededor de 4000 mm anuales y que el aporte adicional de agua de neblina es de 400 a 500 mm al año. En un estudio posterior de Rollenbeck y Bendix (2011) compararon la precipitación registrada con pluviómetros del INAMHI frente a la precipitación estimada por un radar meteorológico de banda X. En dicho estudio se observa que la interpolación de la lluvia a partir de la ubicación de las estaciones subestima las altas precipitaciones que ocurren en la cordillera. El mapa oficial registra precipitaciones de 1500 mm en lugares donde se conoce que la precipitación es alrededor de 4000 mm. Sumado a ello, la configuración actual de la red meteorológica no permite representar espacialmente la lluvia en la cuenca de estudio. La subestimación de la lluvia en las partes altas de la cuenca hace que no represente los picos de caudal en el periodo [junio a septiembre].

A partir de estos resultados, otros estudios en curso se está utilizando precipitación estimada por radar con la intención de mejorar los caudales simulados a nivel diario en la cuenca Boquerón y otras cuencas aguas abajo.



Finalmente, a pesar de la limitada disponibilidad de datos pluviométricos para el modelo empleado en la cuenca Boquerón, se considera como aceptable la simulación, puesto que los ensayos para los promedios interanuales fueron superiores al 62 %.

#### Agradecimientos

Los autores reconocemos el aporte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-México) por el financiamiento del proyecto 248553 “Modelación de eventos hidrológicos extremos a partir de precipitación estimada por percepción remota”. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) y al grupo de Investigación de la Estación Científica San Francisco (ECSF) por los datos hidrométricos y meteorológicos.

#### Referencias

- Aguirre-Mendoza, Z., Aguirre, N., Ochoa, I., & Merino, B. (2016). Los páramos del Parque Nacional Podocarpus: una aproximación a su diversidad ecosistémica y florística. En N. Aguirre, T. Ojeda-Luna, P. Eguiguren, & Z. Aguirre-Mendoza (Eds.), *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador* (p. 272). Loja, Ecu, Ecuador: Programa Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos.
- Askew, A. (1989). Real-time intercomparison of hydrological models. *New Directions for Surface Water Modeling*, (181), 125-132.
- Bâ, K. M., Díaz-Delgado, C., Quentin, E., Guerra-Cobián, V. H., Ojeda-Chihuahua, J. I., Alin-Andrei, C., & Franco-Plata, R. (2013). Modelado hidrológico de grandes cuencas : caso de estudio del río Senegal, África Occidental. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV(2), 129-136.
- Bâ, K. M., Díaz-Delgado, C., & Rodríguez Osorio, V. (2001). Simulación de caudales de los ríos Amacuzac y San Jerónimo en el Estado de Mexico, México. *Ingeniería Hidráulica en México*, XVI(4), 177-126.
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 53-72. <http://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- Guerra-Cobián, V. H. (2007). *Análisis del efecto de discretización espacial en el modelado de cuencas hidrológicas utilizando el modelo distribuido CEQUEAU-ONU*. Tesis de Doctorado. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (Eds.). (2003). *Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de Los Páramos. Global Peatland initiative/NC-IUCN/Ecociencia*. Quito, Ecuador.
- INAMHI. (2006). *Climas del Ecuador*. Quito, Ecu.: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Recuperado a partir de <http://186.42.174.231/gisweb/METEOROLOGIA>
- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., & Guevara, E. (2008). Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). Recuperado 13 de enero de 2016, a partir de <http://srtm.csi.cgiar.org>



- Lauer, W. (1981). Ecoclimatological Conditions of the Paramo Belt in the Tropical High Mountains. *Mountain Research and Development*, 1(3/4), 209-221. <http://doi.org/10.2307/3673058>
- Llanos, H., & Bâ, K. (2011). Simulación de caudales de los ríos Nervión e Ibaizabal. País Vasco. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 1(27), 13-23.
- Morin, G. (2009). *CEQUEAU HYDROLOGICAL MODEL*.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual model. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.
- Plesca, I., Timbe, E., Exbrayat, J.-F., Windhorst, D., Kraft, P., Crespo, P., ... Breuer, L. (2012). Model intercomparison to explore catchment functioning: Results from a remote montane tropical rainforest. *Ecological Modelling*, 239(1), 3-13. <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.05.005>
- Pourrut, P. (1995). *El agua en el Ecuador: clima, precipitaciones, escorrentia* (7.<sup>a</sup> ed.). Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional.
- Powell, M. J. (1964). An efficient Method for Finding the Minimum of a Function of Several Variables without Calculating Derivatives. *Computer Journal*, 7(1), 155-162.
- Refsgaard, J. C. (1997). Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 198(1-4), 69-97. [http://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03329-X](http://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03329-X)
- Rollenbeck, R. (2006). Variability of precipitation in the Reserva Biológica San Francisco / Southern Ecuador. *Lyonia*, 9(1), 43-51.
- Rollenbeck, R., & Bendix, J. (2011). Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations. *Atmospheric Research*, 99(2), 277-289. <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.10.018>
- Vázquez, R. F. (2010). Modelación hidrológica de una microcuenca Altoandina ubicada en el Austro Ecuatoriano. *Maskana*, 1(1), 79-90.
- WMO. (1986). Results of an intercomparison of models of snowmelt runoff. En *Modelling Snowmelt-Induced Processes (Proceedings of the Budapest Symposium, July 1986)*. Geneve.
- WMO. (1994). Simulated Real-Time Intercomparison of Hydrological Models. *Journal of Hydrology*, 153, 433-434.



Extenso ID: 191. Alfredo Amador García<sup>a</sup>, Manuel E. Mendoza<sup>b</sup>. EVALUACIÓN DEL ESCURRIMIENTO NATURAL DE AGUA SUPERFICIAL CONFORME A LA NORMA NOM-011-CNA-2015 Y BALANCE HÍDRICO ESPACIALMENTE DISTRIBUIDO DE LAS CUENCAS DEL RÍO SANTIAGO-GUADALAJARA ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, [amador.umich@gmail.com](mailto:amador.umich@gmail.com)

<sup>b</sup> Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, 58190, Morelia, Michoacán, [mmendoza@ciga.unam.mx](mailto:mmendoza@ciga.unam.mx)

## RESUMEN

De acuerdo con CONAGUA (2010) México se compone 731 cuencas, en ellas, la disponibilidad del agua superficial se puede evaluar con alguno de los métodos contenidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2015. El presente trabajo pone énfasis en la estimación de la evapotranspiración como agente regulador y explicativo de la variabilidad del modelo lluvia-escorrentía del método indirecto de dicha norma. El área de estudio comprende 8 subcuencas pertenecientes a los cauces naturales del Río Santiago y 2 a la cuenca Lerma-Chapala. En conjunto, constituyen el cuello de botella de la Región Lerma-Chapala-Santiago que resulta de enorme interés por la concentración poblacional en la zona urbana y conurbada de Guadalajara. Además de los registros meteorológicos y la información restituida de 35 estaciones con el paquete RMAWGEN del proyecto R, se usaron principalmente modelos de regresión lineal e interpolaciones por inverso de la distancia ponderada (IDW) en ambiente SIG para distribuir los parámetros de temperatura y precipitación mensual y anual, así como los parámetros  $k$  y  $C_e$  del método indirecto de la NOM-011-CONAGUA-2015, tanto para la estimación del escurrimiento como de la evapotranspiración actual o real conforme al método de **Thornthwaite y Mather (1957)**. Se trata de una zona hidrológicamente muy compleja en su ensamblaje, con aportes de escurrimientos procedentes tanto de Río Verde como del Río Santiago. Con numerosos cuerpos de agua, en los que el proceso de evaporación representa una importante salida del sistema, pero principalmente con numerosos y diversos usos consuntivos cuyos volúmenes apenas han comenzado a registrarse a finales del siglo pasado. La inclusión de la zona metropolitana de Guadalajara y los diversos usos que del territorio que ocurren derivados del crecimiento poblacional, imprime una dinámica hídrica compleja al sistema en detrimento de las aguas superficiales en su calidad y cantidad. En estas condiciones el uso del método indirecto de la NOM-011 puede mejorarse en un enfoque de balance de masa considerando algún método para el cálculo de la evapotranspiración actual o real.

**Palabras clave:** SIG. Modelamiento hidrológico. Evapotranspiración. Jalisco

## 1. IntroducCión

El modelo de balance hídrico es una herramienta ampliamente utilizada para predecir algunos de los impactos que pueden afectar al ciclo hidrológico y que derivan de las actividades humanas o el cambio climático en el contexto regional y local. La comprensión de la dinámica de una cuenca requiere estudiar la relación entre los distintos procesos hidrológicos (Badano y Menéndez, 2010).



Los eventuales impactos del cambio climático son más severos en los sistemas hídrico, agropecuario y urbano. Es clave conocer los probables impactos y las condiciones de vulnerabilidad de cada sector, y poder planear la mejor forma de enfrentar los efectos de la variabilidad del clima actual y del cambio climático futuro.

En consecuencia este trabajo tiene como objetivo evaluar la disponibilidad de agua superficial de las subcuencas de las Cuencas del Río Santiago-Guadalajara conforme a la norma NOM-011-CONAGUA-2015 ante escenarios de cambio climático, como base para la definición del Plan de Manejo de las mismas.

## 2. Materiales y métodos

### Área de estudio

Las cuencas de Río Santiago-Guadalajara están conformadas por 10 subcuencas, las cuales suministran agua a la zona metropolitana de Guadalajara, de ahí su importancia estratégica (Figura 1).



**Figura 1. Subcuencas del área de estudio.**

### Adquisición y estructuración de la bases de datos climática

La información meteorológica diaria correspondiente a temperatura mínima, máxima y precipitación acumulada en 24 hrs. se recopiló del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua publica ([smn.cna.gob.mx/climatología/Diarios/](http://smn.cna.gob.mx/climatología/Diarios/)"num.estación".txt). Se obtuvieron mapas de 76 estaciones en y en los alrededores de las subcuencas del área de estudio. Los datos abarcan un periodo de 1945 a 2011; sin embargo, la ausencia de valores diarios e incluso anuales de largos periodos consecutivos indica una gran porosidad de las bases de datos. Solo 35 de dichas estaciones para el periodo 1961-2013 fueron seleccionadas para ser restituidas. La restitución de datos faltantes de las estaciones seleccionadas se realizó mediante el paquete RMAWGEN de R.





Se generan las capas de temperatura y precipitación anuales. En el caso de la temperatura media se generaron 52 modelos de regresión lineal (temperatura vs altitud) con base en la variación altitudinal y los registros anuales obtenidos del procesamiento de la información disponible y completada. En dichos modelos se obtuvieron valores de  $R^2$  por arriba de 0.6. La variación espacio-temporal de la precipitación también se preparó en formato ráster con 100 m de resolución, pero en este caso por tratarse de un parámetro poco ajustado a las variaciones altitudinales, se optó por el uso de la interpolación IDW.

Estimación del volumen anual de escurrimiento de agua superficial por los métodos directo e indirecto de la NOM-011.

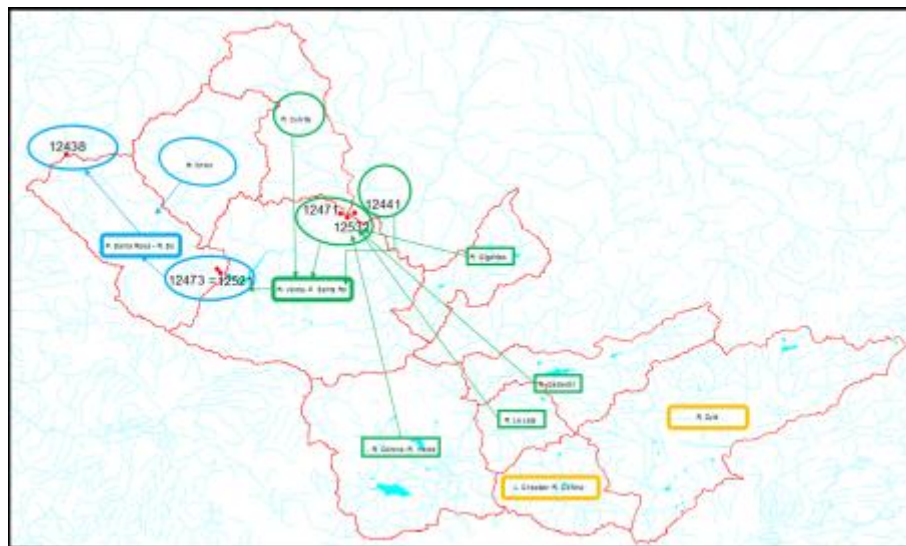
De acuerdo a la NOM-011-CONAGUA (2015), este método se aplica si en la cuenca en estudio existe un registro mínimo de 20 años consecutivos o no consecutivos. En caso de que falten datos en un máximo de cinco años para completar el periodo, el usuario calculará dichos años faltantes mediante algún método que le apruebe la Comisión Nacional del Agua.

En el caso común de tener un sistema de cuencas interconectadas se debe elaborar un esquema de interconexión de la cuenca hidrológica en estudio con las cuencas vecinas, indicando los nombres de los cauces, dirección del flujo y, en su caso, la ubicación de los embalses naturales y artificiales CEA-IMTA (2015). Para seguir las consideraciones de la NOM-011-CONAGUA (2015) se atiende el modelo conceptual de la Figura 3.4.

$$\begin{aligned}
 &\text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA (CP)} = \text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO AFORADO DE LA CUENCA HACIA AGUAS ABAJO (V2)} + \text{VOLUMEN ANUAL DE EXTRACCIONES DE AGUA SUPERFICIAL (UC)} - \text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO AFORADO DESDE LA CUENCA AGUAS ARRIBA (V1)} \\
 &\quad + \text{VOLUMEN ANUAL DE EXPORTACIONES} - \text{VOLUMEN ANUAL DE IMPORTACIONES} - \text{VOLUMEN ANUAL DE RETORNOS}
 \end{aligned}$$

**Figura 2. Estimación del volumen anual de escurrimiento conforme al método directo de la NOM-011-CONAGUA-(2015).**

La porción relativamente más compleja del área de estudio que hace referencia la interconexión de entradas y salidas al sistema la constituye las confluencias en la subcuenca Río Verde-Presa Santa Rosa. Tiene varios aportes como se ve en la figura 3. Tal vez la más significativa llega entre las subcuencas del R. Gigantes y R. Calderón y corresponde a el Río Verde que, lamentablemente, no está aforada en los registros disponibles en o en las inmediaciones del área. Dada los escasos de estaciones hidrométricas fue necesario estimar el escurrimiento para algunas subcuencas por el método directo, pero principalmente se usó del método indirecto.



**Figura 3. Modelo conceptual para la implementación de la estimación de escurrimiento superficial en las subcuencas del área de estudio.**

Conjuntos espaciales y periodos de observación 1984-2012

Se contó con los modelos digitales de elevación (MDE) con resolución 80 m provistos por USGS-NASA-SRTM (Jarvis *et. al.* 2008), además de las distintas capas escala 1:250,000 disponibles: a) Carta de uso de suelo y vegetación a escala 1:250,000 de la serie V (INEGI, 2012), b) Carta edafológica.

Bases de datos para escenarios de cambio climático

En este trabajo se usaron los denominados escenarios A2 y B2. La familia “1” corresponde a los escenarios de *tendencia* mientras que la familia “2” es una proyección *moderada*. Por otro lado, se considera a la subfamilia “A” como *pesimista* por las implicaciones del crecimiento poblacional, en contraste con la subfamilia “B” que se consideran *optimista* en cuanto a la desaceleración del crecimiento poblacional (ver cuadro 1).



**Cuadro 1. Familias y subfamilias de escenarios de emisiones ante expectativas de cambio climático. Tomado de Delgado *et. al.* 2013.**

Escenario	Descripción
A1	Rápido crecimiento económico, el crecimiento poblacional alcanza su máximo para mediados del siglo XXI, los mecanismos de mercado dominan la economía. Subdivisiones: <b>A1FI</b> : dependencia en combustibles fósiles; <b>A1T</b> : dependencia en combustibles no-fósiles; <b>A1B</b> : dependencia balanceada de fuentes de energía.
A2	No dependencia económica regional, conservación de identidades locales, aumento continuo en la población, crecimiento económico a nivel regional
B1	Uso de tecnologías limpias y eficientes, reducción de consumo material, soluciones globales a problemas económicos y medioambientales, mejor distribución de la riqueza, el crecimiento poblacional alcanza su máximo para mediados del siglo XXI
B2	Soluciones locales a problemas económicos y medioambientales; crecimiento poblacional menor que A2; menor cambio tecnológico que en B1 y A1.

Se usaron los productos generados por la UNIATMOS de la UNAM en su Atlas Climático Digital (Fernandez-Eguiarte *et. al.* 2016) disponibles en formato raster para las familias de *escenarios moderados* ejecutados para Norte y Centroamérica con el modelo de circulación general *HADGEM1*. El Modelo de circulación general ensamblado *HADGEM1* fue desarrollado en 2006 en el centro británico Hadley (Martin *et al.* 2006 y Johns *et al.* 2006) y ha sido referido dentro del conjunto de modelos empleados por la IPCC en sus reportes a partir de 2007. Se usan las proyecciones de dicho modelo para precipitación temperatura anual a los años 2003 y 2050. Para la distribución y descripción de la temperatura y precipitación se utilizaron los recortes a los grids o imágenes raster con resolución espacial de 800 m que proporciona la UNIATMOS de la UNAM. Para hacerlos compatibles con el MDT de 100 m de resolución, de estas imágenes se extrajeron los valores de contorno en formato SHP. Con estas se genera una red irregular por triangulación (TIN por sus siglas en inglés) con el que se restituye un raster con las dimensiones y resolución espacial del MDT.

#### Análisis de tendencias de cambio climático

En este trabajo se aplicó la prueba de Mann-Kendall para evaluar únicamente datos no estacionales e independientes (precipitación y temperatura mesuales) (Helsel and Hirsch, 1992). El objetivo de este análisis es conocer si existiese y en qué medida ocurre un cambio en la variable hidrológica en un período de tiempo determinado. En una prueba de dos lados para tendencias, la hipótesis nula es rechazada en un nivel de significancia de  $\alpha$  si  $|Z| > Z(1-\infty/2)$ , donde  $Z(1-\infty/2)$  es el valor de la distribución normal que excede  $\alpha/2$ . Un valor positivo de  $Z$  indica una tendencia ascendente; un valor negativo indica una tendencia descendente en la serie de tiempo evaluada. En este trabajo las tendencias son identificadas a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ . La prueba estadística de tendencias  $Z$  es utilizada para indicar la tendencia significativa, pero no es una cuantificación de la magnitud de la tendencia (Hirsch *et al.*, 1993; Molnár y Ramírez, 2001. Esta prueba es útil cuando los registros no son muy amplios (Carlón *et al.*, 2007).

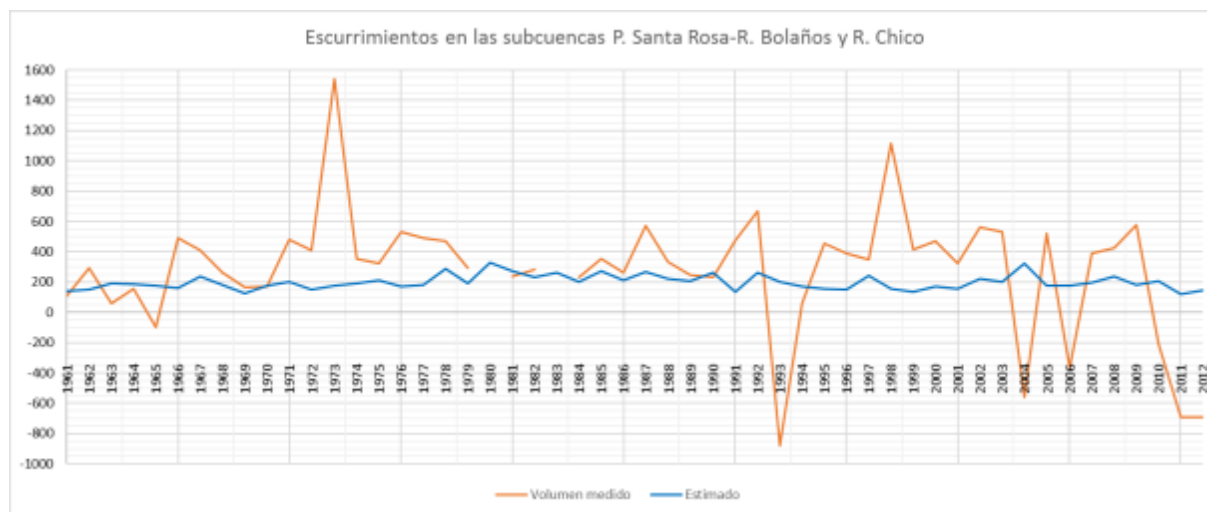
#### Modelo de balance hídrico

El balance hídrico natural de las subcuencas del área de estudio dispone hasta este punto con las estimaciones de la principal entrada (precipitación) y la principal salida (escurrimiento). Para conocer desde un enfoque de balance de masa hace falta estimar otra importante salida: la evapotranspiración real; de esta manera, la diferencia entre la entrada menos las salidas proporcionen una estimación de la lámina de agua ya sea remanente en las subcuencas a manera de “disponibilidad”, ya sea para su incorporación por infiltración a los acuíferos o bien para su almacenamiento y consumo sin poner en riesgo el funcionamiento natural histórico de las mismas subcuencas. Sin embargo, valores negativos de este balance simple mostrarían condiciones deficitarias en el balance, lo que subrayaría necesidad de atención en materia de retención y usos del agua en las distintas áreas en que esto se manifestara en las subcuencas. Se aplicó un método sencillo de estimación del balance hídrico, el de **Thornthwaite y Mather (1957)** debido a la calidad y cantidad de datos disponibles.

### 3. Resultados

#### Modelo precipitación-escurrimiento

Dada la escasez de registro hidrometeorológicos la relación precipitación-escurrimiento modelada por el método directo, consistentemente subestimó la magnitud de los la cantidad de agua que escurre en las subcuencas P. Santa Rosa-R. Bolaños y R. Chico de 1961 a 2012 (Figura 3), las cuales cuentan con aforos hidrométricos, el resto de las subcuencas se modelaron con el método indirecto.



**Figura 3. Volumen ( $\text{hm}^3$ ) medido en estaciones hidrométricas y volumen estimado de escurrimientos anuales de las subcuencas P.Santa Rosa-R. Bolaños y R. Chico de 1961 a 2012.**

#### Análisis de tendencias de cambio climático

**Los resultados indican un claro incremento generalizado en la distribución de temperaturas máximas, así como una fuerte tendencia a que las temperaturas máximas sean más extremosas; pero no existe una tendencia clara en reducción de precipitaciones, o incremento de temperaturas medias (Figuras 4, 5 y 6).**

Balance hídrico para escenarios de cambio climático.





El escenario de balance hídrico para el año 2030, considerando el modelo de cambio climático modelo HADGEM1 A2 (pesimista moderado), muestra una cuenca donde predomina la clase baja retención de humedad, seguida por la clase bajo déficit. La subcuenca con las clases más deficitaria es Presa Santa Rosa-río Bolaños (clases bajo y moderado déficit); la cual cuenca Chapala-río Corona se encuentra en su totalidad dentro de la clase bajo déficit (Figura 7).

El escenario de balance hídrico para el año 2030, pero considerando el modelo de cambio climático modelo HADGEM1 B2 (optimista moderado), muestra que predomina la clase de retención baja para toda la cuenca. Sin embargo, las subcuenca Presa Santa Rosa-río Bolaños, sigue siendo la más crítica, en ella las clases de bajo y moderado déficit predominan, y nuevamente, en la subcuenca Lago de Chapala-río Corona predomina la clase bajo déficit (Figura 8).

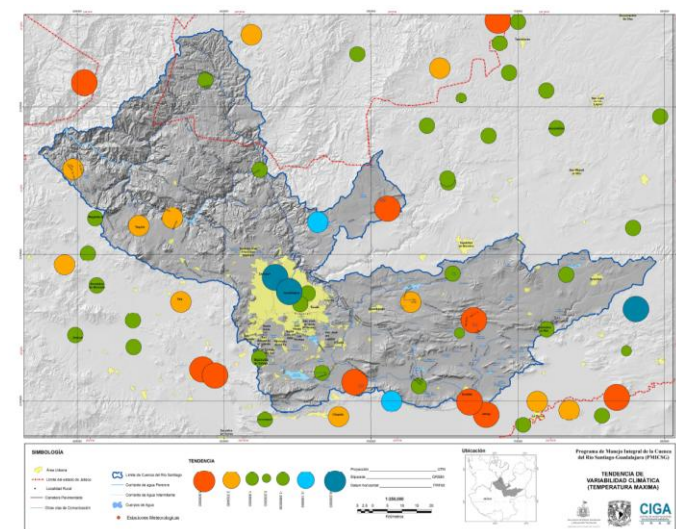


Figura 4. Distribución espacial del análisis de tendencias de la temperatura máxima por estación.

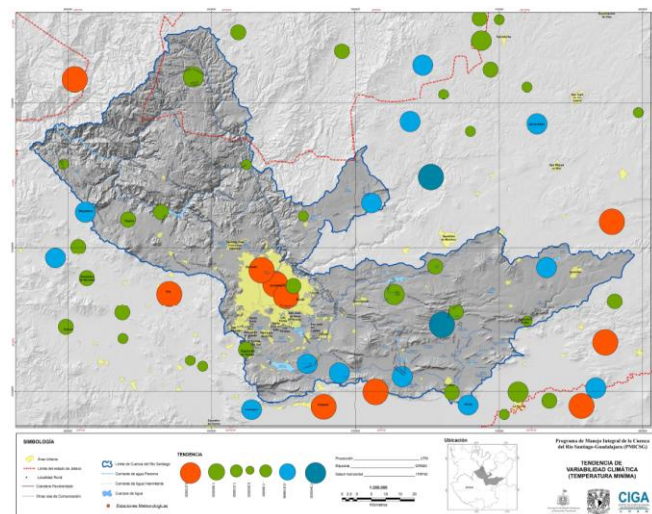


Figura 5. Distribución espacial del análisis de tendencias de la temperatura mínima por estación.



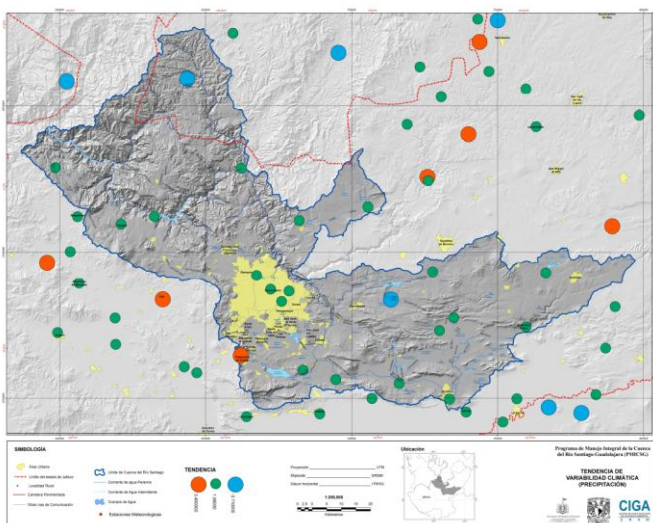


Figura 6. Distribución espacial del análisis de tendencias de la precipitación anual por estación.

El escenario de balance año 2050, considerando el modelo HADGEM1 A2 (pesimista moderado), muestra una predominancia de la clase déficit bajo; este patrón indica una clara falta de agua para soportar procesos biofísicos y aprovechamiento para uso consuntivo. Las subcuencas que pueden ser más afectadas son presa Santa Rosa-río Bolaños, seguidas por las de río Chico y río Verde-presa Santa Rosa (Figura 9).

El escenario de balance año 2050, considerando el modelo HADGEM1 B2 (optimista moderado), muestra un patrón con predominancia de las clases bajo déficit y baja retención; la primera predomina al sur, mientras que la segunda se ubica preferentemente hacia el centro y norte de la cuenca. Nuevamente la subcuenca presa Santa Rosa-río Bolaños será podría ser la más afectada en términos hidrológicos (Figura 10).

#### 4. Discusión y conclusiones

La falta -a veces absoluta de información meteorológica e hidrométrica- es posible conocer las condiciones hidrológicas en las cuencas Lerma-Santiago. En este caso la información meteorológica es abundante pero insuficiente, lo cual dificulta la validación de los modelos, problemática común en países como India (Sharma *et al.*, 2000) y México (Mendoza *et al.*, 2010; Carlón *et al.*, 2009).

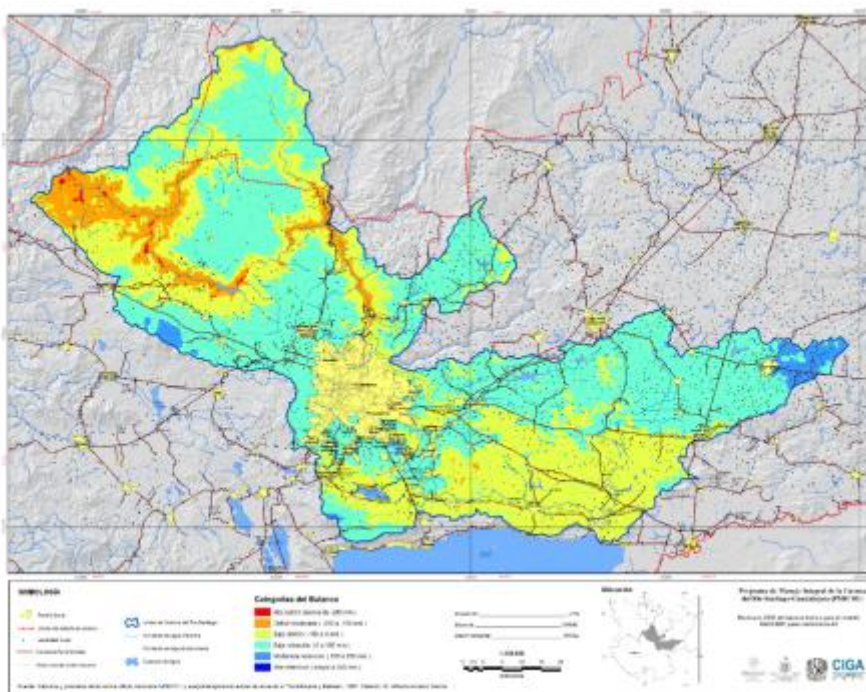
El método directo demanda no solo datos monitoreables en estaciones meteorológicas e hidrométricas, también demanda otras como los volúmenes de usos consuntivos, importaciones, exportaciones, etc. que no existen para toda la República, especialmente en esta zona, por lo que se optó por usar el método indirecto de estimación de escurrimiento. Sin embargo, estos enfoques son aplicables dada la falta de mediciones de campo (Mendoza *et al.*, 2002), y son útiles porque son indicativas de la condición del territorio, y de las potenciales condiciones del territorio antes los cambios climáticos y de cobertura vegetal y uso del suelo (Mendoza *et al.*, 2010; Sharma *et al.*, 2000).

El área de estudio es una zona hidrológicamente muy compleja en su ensamblaje, con aportes de escurrimientos procedentes tanto de Río Verde como del Río Santiago; también existen numerosos cuerpos de agua, en los que el proceso de evaporación representa una importante salida del sistema, pero principalmente con numerosos y diversos usos consuntivos cuyos volúmenes apenas han comenzado a registrarse a finales del siglo pasado. La inclusión de la zona metropolitana de Guadalajara y los diversos

usos que del territorio que ocurren derivados del crecimiento poblacional, imprime una dinámica hídrica compleja al sistema en detrimento de las aguas superficiales en su calidad y cantidad.

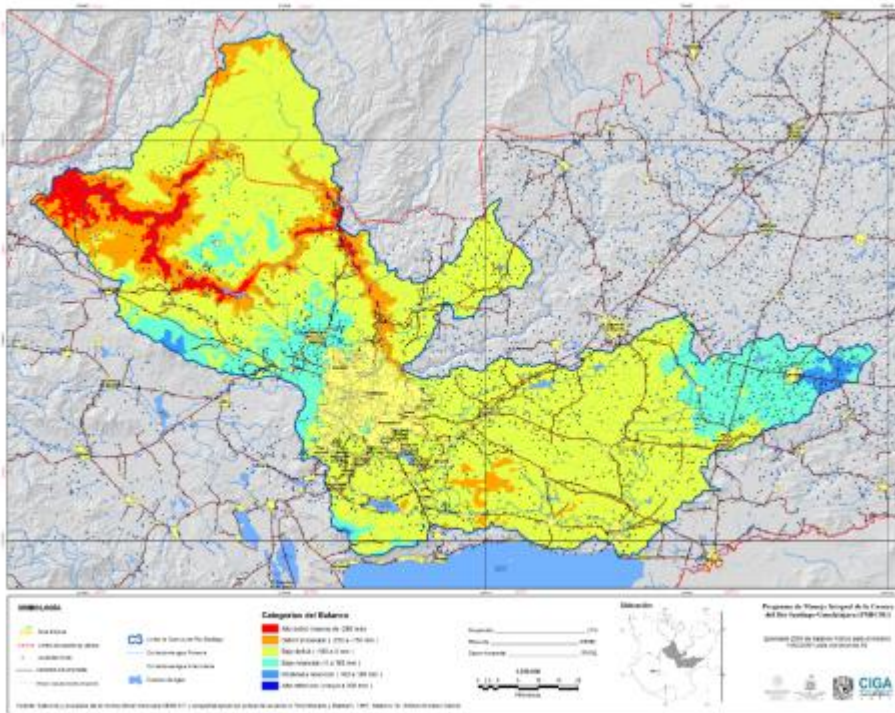
Las características climáticas de la cuenca, aunadas a la permeabilidad del sustrato, favorecen las condiciones deficitarias en el balance hídrico. El déficit hídrico susceptible a incrementarse, debido a las tendencias de cambio en los patrones de precipitaciones y temperatura analizados a partir de la prueba de Mann Kendall. Adicionalmente, las estimaciones del balance hídrico a partir de los escenarios de cambio climático son congruentes con los resultados anteriores y por lo tanto el déficit hídrico tiende a incrementarse en la cuenca, pero especialmente en las cuencas más norteñas, que suministran en agua superficial a la zona metropolitana de la Guadalajara.

Los escenarios de balance hídrico para 2030 y 2050 podrían modificarse si además se considerarán escenarios de cambio de cobertura, variable clave del balance hídrico, por lo que se sugiere incluir modelos de distribución potencial de la vegetación y uso del suelo en la construcción de escenarios futuros de balance hídrico.



**Figura 7. Escenario 2030 de balance hídrico conforme al mismo conjunto de operaciones que las señaladas para el escenario base, pero con el modelo HADGEM1 para condiciones A2 (PESIMISTA moderado).**





100

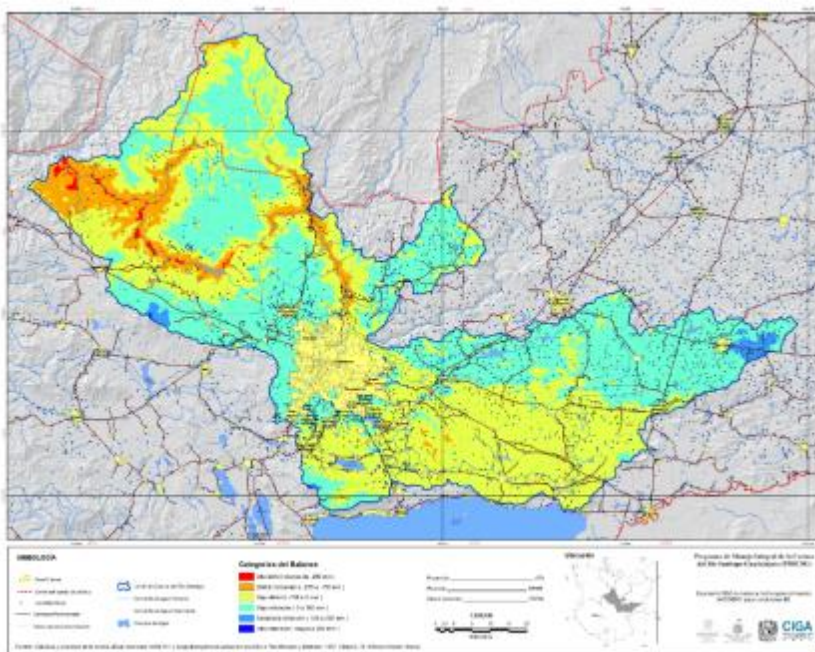


IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

**Figura 9. Escenario 2050 de balance hídrico conforme al mismo conjunto de operaciones que las señaladas para el escenario base, pero con el modelo HADGEM1 para condiciones A2 (PESIMISTA moderado).**



**Figura 10. Escenario 2050 de balance hídrico conforme al mismo conjunto de operaciones que las señaladas para el escenario base, pero con el modelo HADGEM1 para condiciones B2 (OPTIMISTA moderado).**

## 5. Agradecimientos

Se agradece el apoyo de los fondos del *Gobierno del Estado de Jalisco* para la realización de esta investigación.

## 6. Literatura citada

- Aparicio M.J., Lafragua C.J., Gutiérrez L. A., Mejía Z. R. y E. Aguilar G., 2006. *Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. Evaluación de los recursos hídricos*. PHI-LAC / Documento Técnico No. 4.UNESCO-IMTA. México. 95 pp.
- Badano, N., y Menéndez, A. 2010). Modelación hidrológica integrada de la región Noroeste de la cuenca del Salado del Sur. In *I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras* (pp. 1–8). Retrieved from [http://laboratorios.fi.uba.ar/lmm/congresos/Badanoetal\\_CIHLLA2010.pdf](http://laboratorios.fi.uba.ar/lmm/congresos/Badanoetal_CIHLLA2010.pdf)
- Dunne, T. y Leopold, L.B., 1978. *Water in Environmental planning*. W.H. Freeman and Company. San Francisco. 818 pp.
- Carlón Allende, T., M.E. Mendoza, E. López, L.M. Morales Manilla (2009). Hydrogeographical regionalisation: an approach for evaluating the effect of land cover change in watersheds. A case study in Cuitzeo Lake Watershed, Mexico. *Water Resources Management* 23 (12): 2587-2603
- Fernandez-Eguiarte A., J. Zavala-Hidalgo, R. Romero-Centeno 2016. Atlas Climático Digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/>
- Garibay, O.C. y G.V. Bocco, 2012. *Cambios de uso del suelo en la Meseta Purépecha (1976-2005)*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE). México, D.F. 44-51 pp.
- Helsel, D.R. & Hirsch, R.M., 1992. *Statistical Methods in Water Resources*, Elsevier, ISBN 0-444-81463-9, Amsterdam
- Hirsch, R. M., Helsel, D. R., Cohn, T. A., y Gilroy, E. J., 1993. Statistical analysis of hydrologic data, in: Maidment (ed.), *Handbook of Hydrology*. McGraw Hill, New York, pp. 17.1–17.55.
- Huang, J., Zhou, P., Zhou, Z., y Huang, Y., 2013. Assessing the influence of land use and land cover datasets with different points in time and levels of detail on watershed modeling in the North River Watershed, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(1), 144–57. doi:10.3390/ijerph10010144
- Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008. Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Landa, R, Carabaias, J. y Meave, J. 2007. Deterioro ambiental, una propuesta conceptual para zonas rurales de México. *Economía Sociedad y Territorio* 1 (2).
- Molnár, P. y Ramírez, J., 2001. Recent trends in precipitation and streamflow in the Rio Puerco Basin, *Journal of Climate* 14(10), 2317–2328.



- NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015. Conservación del recurso agua. Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación. 27 de Marzo de 2015.
- Mendoza, M.E., G. Bocco y M. Bravo, 2002. Spatial prediction in hydrology: status and implications in the estimation of hydrological processes for applied research. *Progress in Physical Geography* 26 (3): 319- 338.
- Mendoza, M.E., G. Bocco, M. Bravo, E. López-Granados y W.R. Osterkamp, 2006. Predicting water surface fluctuation of continental lakes. A GIS and RS based approach in Central Mexico. *Water Resources Management* 20 (2): 291 – 311.
- Mendoza, M.E., G. Bocco, E. López y M. Bravo, 2010. Hydrological implications of land-cover and land-use change: Spatial analytical approach at regional scale in the closed basin of the Cuitzeo Lake, Michoacan, Mexico. *Singapore Tropical Geography* 31: 197-214
- Tang, L., Yang, D., Hu, H., y Gao, B., 2011. Detecting the effect of land-use change on streamflow, sediment and nutrient losses by distributed hydrological simulation. *Journal of Hydrology*, 409(1-2), 172–182. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.08.015
- Thornthwaite, C.W. y J.R. Mather, 1957. *Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and Water balance*. Publications in Climatology 10(3). Drexel Institute for Technology. Laboratory of Climatology. Centerton, New Jersey.
- Velázquez, A., E. Duran, A. Larrazábal, F. López y C. Medina, 2010. La cobertura vegetal y los cambios del suelo. En: Mendoza, M., A. Velázquez, A. Larrazábal, A. Toledo, (compiladores), 2010. *Atlas fisiográfico de la cuenca del Tepalcatepec*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 28-32 pp.

Extenso ID: 283. Iñiguez-Covarrubias Mauro<sup>1</sup>, Ojeda-Bustamante Waldo<sup>1</sup>, Díaz-Delgado Carlos<sup>2</sup>. TRES MÉTODOS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA LLUVIA Y LA SIMULACIÓN DEL ESCURRIMIENTO: RÍO JUCHIPILA, ZACATECAS, MÉXICO.

[Regresar al índice](#)

<sup>1</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550 Jiutepec, Morelos, México. mic@tlaloc.imta.mx, wojeda@tlaloc.imta.mx, tel. 777 3 29 36 00 ext 195

<sup>2</sup>Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México, cdiazd@uaemex.mx.

## RESUMEN

Caracterizar y conocer la distribución espacial de la precipitación, también conocida como “campo de tormenta” y asociarlo a un modelo de distribución para ser utilizados en modelos de relación lluvia-escorrimento, es y ha sido una preocupación importante en los estudios hidrológicos. La metodología que aquí se propone requiere primero generar la distribución espacial de la lluvia con la aplicación del método del “krigeado” que tiene como base la obtención de un variograma, precisamente a través del ajuste a datos experimentales, después se compara el campo de tormenta obtenido contra la distribución generada con los métodos convencionales polígonos de Thiessen y el método de las Isoyetas, esta comparación se realiza a través de la simulación, con la relación lluvia-escorrimento. Para la aplicación y estudio del caso se analiza el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Juchipila, Zacatecas, México, hasta la estación hidrométrica el Tecomate. El periodo de registro utilizado fue de 1949 a 1958, años en que no existían obras hidráulicas en la región, lo que permitió el desarrollo del estudio bajo este enfoque, la simulación se realiza con el modelo hidrológico de parámetros distribuidos Cequeau versión 3.0. Con los resultados y criterios de comparación se concluye que el campo de tormenta propuesto representa el fenómeno estudiado, por lo que se recomienda utilizar esta metodología en la cuenca del río Juchipila, en estudios de relación lluvia- escorrimento.

**Palabras clave:** modelo Cequeau, interface Ciramex, método de krigeado

## 1 INTRODUCCIÓN

Los modelos matemáticos en hidrología resultan ser instrumentos de análisis muy útiles en la actualidad, representan sistemas complejos, tal como una cuenca hidrográfica, donde las respuestas producidas por una serie de solicitudes externas son difíciles de predecir, a causa del gran número de factores que intervienen. Los modelos de simulación lluvia-escorrimento con parámetros distribuidos tienen como finalidad entre otras, de estimar los recursos hídricos de una cuenca tomando en cuenta la variabilidad espacial de las variables climáticas y los diferentes parámetros que intervienen en el proceso.

Los modelos determinísticos de acuerdo con Fleming (Fleming, 1978) tienen su base teórica en el balance de masas y la precipitación (mm/unidad de área) es uno de los componentes más importantes de la

ecuación. La manera de abordar la lluvia en los distintos modelos determinísticos me llevó a revisar el trabajo de la WMO (1990) reporte No 34, en donde se abordan diferentes modelos hidrológicos para la operación y diseño en los recursos hidráulicos, así mismo la WMO (1992) realizó una comparación entre modelos hidrológicos que realizan la simulación en tiempo real, entre el que se encuentra el modelo Cequeau, otro referencia más de revisión fue el de Singh (1988), en su trabajo que incluye 26 modelos, describe sus fundamentos y bases teóricas, entre ellos se encuentra el Tank Model, SSARR Model y MIKE SHE.

Entre las particularidades de todos los modelos, el evento meteorológico de la lluvia es abordado mediante herramientas para la estimación de la precipitación promedio sobre un área o las técnicas como los polígonos de Thiessen, esta metodología explícitamente se encuentra en el modelo Cequeau entre otros, estas técnicas como es sabido parten de datos puntuales y se generalizan sobre áreas parciales o totales. (Aparicio, 1989).

Por otra parte, en la geoestadística se han desarrollado técnicas para generalizar matemáticamente datos puntuales para explorar la correlación espacial por el método de Krigado y se toma en cuenta la información aportada por el variograma, ya que el error no depende directamente de los datos sino de la continuidad espacial de éstos, estos trabajos han sido en estudios de identificación de variogramas aplicado a lluvia (Lebel, 1985).

Después de una revisión exhaustiva en los modelos de simulación lluvia-escurrimiento determinísticos con parámetros distribuidos, no se encontró explícitamente información para utilizar técnicas que adicionan la información aportada por el variograma de la variable lluvia y realizar la interpolación por Krigado para ser utilizada como método de asignación de la lluvia.

Es aquí en donde se identifica la oportunidad que se pretende realizar en esta investigación y aplicarlo en cuencas mexicanas la aplicación en los modelos de simulación lluvia-escurrimiento determinísticos con parámetros distribuidos que permitan identificar la lluvia diaria sobre el área la distribución espacial con el método de interpolación del krigado.

Propuesta metodológica: La propuesta metodológica consiste en modificar el método de asignación en la distribución espacial de la variable meteorológica “lluvia” en el modelo determinista y de parámetros distribuidos Cequeau versión 3.0, y realizar la sensibilidad de la simulación de caudales a campos de tormenta utilizando la interpolación del krigado con variograma experimental ajustado a un modelo teórico tipo lineal y otro tipo esférico, En la aplicación y estudio del caso se analiza el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Juchipila hasta la estación hidrométrica el Tecomate Zacatecas, México. Para el análisis de sensibilidad al comparar las tres versiones, se tendrán los mismos parámetros del modelo como constantes, y la única variable es el campo de tormenta

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

Modelo Cequeau: El modelo Cequeau fue desarrollado por investigadores del Instituto Nacional de la Investigación Científica (I.N.R.S) de la Universidad de Quebec, Canadá (Morin en at Paquet,1995), Es un modelo hidrológico de parámetros distribuidos y está compuesto por dos partes principales que describen de la mejor manera posible el curso que sigue el agua desde que se precipita hasta la salida de la cuenca. La parte que se presenta aquí del modelo hidrológico Cequeau es la que se relaciona a la lluvia y el método de la distribución espacial para la asignación, otros detalles consultar el manual (Morin en at Paquet,1995). En este sentido, la cuenca se divide en superficies elementales de forma cuadrada,

permitiendo así el balance al calcular los caudales en cualquier parcela y tener en cuenta las variaciones espacio-temporales de las características fisiográficas.

En el modelo Cequeau, la variable lluvia y la distribución espacial se realiza a partir de los datos de lluvia con base a las estaciones disponibles. El técnico es transformar estos valores de la lluvia en cada estación y distribuir al asignar el valor de la variable a cada cuadro parcial de la cuenca. A partir de los datos de la lluvia, que es la medición puntual en cada una de las estaciones sobre el área de influencia en la cuenca, se transforman los valores de las estaciones en datos sobre los cuadros de la cuenca ya discretizada.

El modelo Cequeau tiene como opción el método de polígonos de Thiessen. El método consiste en asignar el mismo valor de la variable, a cada estación climatológica de la cuenca y a una zona de influencia. Ésta se limita por rectas que bisectan las líneas que unen las estaciones más próximas entre sí y que son normales a dichas líneas o por el parteaguas de la cuenca. De este modo se forman los polígonos. Cada polígono tiene un área, a la que se les asigna el mismo valor de la lluvia y, así, a todos los cuadros discretizados de la malla de influencia de cada estación correspondiente.

En la utilización de la modelación matemática la calibración es una parte esencial, ya que un modelo mal calibrado producirá siempre resultados falsos. Así, una parte de las observaciones disponibles se usan para la calibración de los diferentes parámetros que contiene el modelo. La otra parte de las observaciones se utiliza para la validación del modelo.

La metodología de calibración empleada es la combinación de técnicas de prueba-error. Se utilizan, el criterio numérico de Nash (Powell, 1964) ecuación 1, criterios gráficos que es la representación del caudal observado y caudal calculado y la comparación de la lámina observada ( $L_o$ ) y lámina calculada ( $L_c$ ), determinada por el volumen observado y volumen calculado entre la superficie de la cuenca, con unidades en mm.

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_{ci} - q_{oi})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q}_o)^2}} \quad (1)$$

donde: NASH: coeficiente de Nash;  $q_{ci}$  y  $q_{oi}$ : son los gastos calculados y observados;  $\bar{q}_o$  es el gasto medio observado del período en que se calcula el coeficiente

Construcción de los campos de tormenta e interpolación mediante krigado: Se entiende en este trabajo “campo de tormenta” como el patrón o método de la distribución espacial de la lluvia. El primer campo de tormenta es el de los, Polígonos de Thiessen para lo cual en el modelo Cequeau ya se tiene como opción de cálculo en la distribución espacial de la variable lluvia.

La variación espacial de las variables para el segundo y tercer segundo campo de tormenta de esta investigación se utilizan el método llamado Krigado que toma en cuenta la información proporcionada por el variograma, ésta es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una propiedad o variable sobre una zona dada y permite estimar valores puntuales utilizando un conjunto limitado de valores observados.

Para la construcción del campo de tormenta son necesarias las coordenadas de las estaciones referenciadas en unidades UTM. Con los datos en los archivos de las estaciones utilizadas con la georeferenciación y un archivo de los puntos de la malla de la cuenca y para el caso la utilización del Software Geopack y de allí la generación del variograma experimental, los cuales son ajustados a un modelo teórico tipo esférico con resultados de las constantes  $\alpha$  y  $\beta$ . Las expresiones matemáticas del modelo de ajuste son presentadas en la ecuación 2, donde el parámetro  $\alpha$  es el rango y  $\beta$  es el umbral.

$$\gamma(h) = \alpha \left( \frac{3|h|}{2\beta} - \frac{|h|^3}{2\beta^3} \right) \quad h \leq \beta \quad (2)$$

$$\gamma(h) = \alpha \quad h > \beta$$

Una vez identificado el campo de tormenta se procede a realizar la interpolación mediante krigado.

Para realizar dicho cálculo se desarrolló un código informático, (Interpolación mediante krigado). Para la interfaz, se desarrolló un programa de cómputo en lenguaje Delphi, (Iñiguez, 2006-a). En forma matricial, este sistema tiene la siguiente expresión:

$$\begin{pmatrix} 0 & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \dots & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & 0 & \gamma_{23} & \dots & \gamma_{2n} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{n1} & \lambda_{n2} & \lambda_{n3} & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_n \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \gamma_n \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\text{Donde: } \gamma_{ij} = \gamma(x_i - x_j) \quad y \quad \gamma_i = \gamma(x_i - x) \quad (4)$$

Si  $-\gamma(h)$  es condicionalmente definida positiva, la matriz del sistema es siempre regular y siempre existe solución. Resolviendo el sistema matricial (ecuación 3) se determinan las  $\sum_i \lambda_i = 1$  y se resuelve la ecuación 5.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (5)$$

Para el método de krigado ordinario se propone una interpolación lineal en la expresión 4 y si es esférica se propone la ecuación 2 en la expresión 4, (Sampler, F.J y J. Carrera, 1990), esto es sin desviación y de error cuadrático medio mínimo expresado por las siguientes expresiones:

$$E(z^*(x_0) - z(x_0)) = 0 \quad E(x^*(x_0) - z(x_0)) \quad \text{mínima}$$



En el desarrollo del código informático (Interpolación mediante kriging) se automatiza el proceso y permite generar un archivo en formato digital adaptable al programa del modelo Cequeau. Los archivos para la distribución espacial de la variable fueron identificando el cuadro discretizado en unidades UTM y asignándole el valor de  $Z^*(x_0)$  en la esquina inferior izquierda, almacenados en archivos \*.sal en formato ASCII. En la interfase se tiene la opción de seleccionar la versión del kriging, lineal y si con variograma ajustado a un modelo teórico tipo esférico, hay una icono en donde se introducen los valores de las constantes  $\alpha$  y  $\beta$ .

Precipitación media diaria en la cuenca: Los resultados son las estimaciones de precipitaciones puntuales. La variabilidad espacial de la lluvia no es un sólo punto, sino un conjunto o serie de puntos tan grande como estadísticamente sea significativa. Una vez construido el campo de tormenta de la distribución espacial de la lluvia sobre la cuenca se calcula la precipitación media con la ecuación 5, para ello se generó una Interfaz Lluvia-Promedio (IÑIGUEZ, 2006-a).

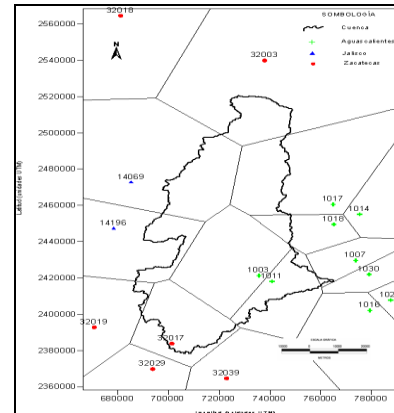
$$PD_i = \frac{\sum_{j=1} p_j \times a_j}{A_T} \quad (6)$$

Donde:  $PD_i$  Precipitación sobre la cuenca en el día  $i$  (mm),  $P_j$  Precipitación en el punto de la malla  $j$  (mm),  $a_j$  área del cuadro  $j$  km<sup>2</sup> y  $A_T$  Área total de la cuenca en km<sup>2</sup>

Interfaz Ciramex para el modelo Cequeau: Para realizar este planteamiento fue necesario desarrollar un código informático (interfaz Ciramex) en el que se puede realizar estos cambios. Para utilizar las propuestas metodológicas y acoplarlas en el modelo de simulación se desarrolló la Interfaz Ciramex en Delphi (lenguaje de programación orientado a objetos) bajo plataforma Windows 95 que permite al usuario el manejo del sistema de manera fácil y es aplicable para ejecutar Cequeau versión 3.0 y Cequeau5 con la información del campo de tormenta utilizado.

Cequeau5, versión modificada consistió en modificar la entrada de la variable al modelo. Previamente se creó el archivo de datos que contiene la variación espacial de las variables meteorológicas (IÑIGUEZ, *et al* 2006-b) y tiene la solución para cada uno de los puntos de la malla previamente seleccionada. El archivo de datos de lluvia contiene para su aplicación los 365 días del año por simular.

La interfaz Ciramex se ordena bajo cuatro puntos: a) Introducción, b) Requerimientos del sistema, c) Instalación y d) Uso del sistema: d.1 Ejecución del sistema, d.2 Estructura del Ciramex, d.3 Interfaz, d.4 Creación de proyectos, d.5 Ejecución del modelo de simulación y archivos requeridos, y d.6 Resultados. La ejecución de la simulación tiene las dos versiones de Cequeau. Al ejecutar cualquiera de las versiones del módulo de simulación del modelo, aparece una ventana que indica que el proceso se encuentra en Ms\_Dos. Una vez terminado el proceso aparece otra ventana más, que indica al usuario que la simulación ha concluido. Los resultados se presentan de forma tabular o en forma de gráfica, lineal acumulada y de barras, y, al ejecutar, se muestra una pantalla que indica se escriba el año a ser graficar para, posteriormente, mostrar los diferentes tipos de resultados antes mencionados.



Dado que el modelo reproduce el proceso de escurrimiento en una cuenca, ha sido preciso especificar el movimiento del agua, para lo cual se han subdividido algunos de los elementos cuadrados, para el caso de 6 km por lado, en elementos parciales, teniendo en cuenta las diferentes líneas o divisorias de agua, externas e internas, existentes en la cuenca, así como el propio trazado de los cauces que componen la red hidrográfica, a partir de cartografía temática.

La información meteorológica diaria, base del estudio, procede de las estaciones climatológicas registradas en los estados de Aguascalientes, Jalisco y Zacatecas. La fuente de información, para las estaciones de Aguascalientes fue el paquete ERIC (IMTA, 1996-a); para las estaciones de Jalisco, se codificaron en formato digital a partir de los reportes originales escritos, disponibles en las oficinas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN); para Zacatecas, los datos fueron obtenidos del Clicom, proporcionado por el SMN, ya que el paquete ERIC sólo registra los datos capturados a partir de 1960. La información usada en el estudio corresponde a los datos de los caudales de la estación de Tecomate sobre

el río Juchipila. (CNA, 1997). Por lo tanto, el periodo de estudio para la cuenca del río Juchipila comprende de enero de 1947 a diciembre de 1958, años en que no existían obras hidráulicas en la región.

Para la realización de los archivos necesarios en la aplicación de la interfaz Ciramex es necesaria la caracterización de la cuenca del río Juchipila y la integración de las cartas temáticas en la estructura del estudio. Para realizar los archivos de la cuenca caracterizada \*.phy, así como archivo datos de escurrimiento \*.deb y por último los archivos de datos climatológicos \*.met, respecto a los archivos de direccionamiento de datos se realizan los archivos \*.dhm, además y por ultimo el archivo de los parámetros \*.pah se aplicó el formato que se describe en el manual de operación de Cequeau, (Morin, 1985).

Los dos parámetros del modelo referentes a las variables climáticas se determinan con la aplicación de la ecuación por el método de Thorntwaite (Aparicio, 1989) y para el parámetros del modelo referentes a las características físicas de la cuenca tiempo de concentración de la cuenca se utilizó la aproximación por el método de Kirpich fue necesario conocer la pendiente del cauce principal empleando el criterio de Tylor y Schwarz . Para lo anterior, fue necesario realizar la digitalización y tener un el plano digitalizado.

Los archivos \*.sal necesarios para ejecutar Cequeau5 versión modificada con la distribución espacialmente, calculados por el método krigeado fue necesario realizar la construcción de los campos de tormenta y se reporta en del trabajo de IÑIGUEZ *et al*, (2006-b). El variograma experimental es ajustado a un modelo teórico tipo esférico tiene un comportamiento lineal en el origen, la pendiente es igual a  $1.5 \alpha / \beta$ , tiene una plataforma definida, por lo que no tiene deriva, no existe discontinuidad en el origen y por lo tanto no tiene efecto pepita (Ilustración 2).

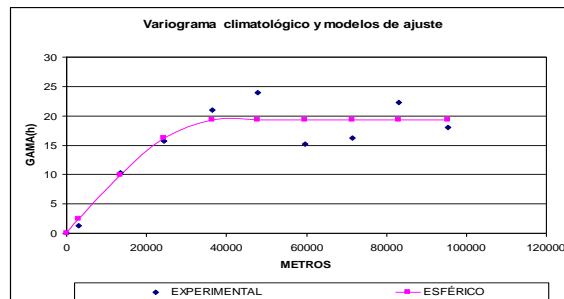


Ilustración 2. Variograma experimental y ajustado modelo de esférico

Los parámetros resultantes del ajuste a un modelo teórico tipo esférico fueron los valores de  $\alpha = 19.31$  y  $\beta = 37663.0$ . Los archivos \*.sal del krigeado con modelo lineal y con variograma experimental ajustado a un modelo teórico tipo esférico son realizados con ayuda de la Interfaz, Interpolación mediante krigeado (IÑIGUEZ *et al*, 2006-b).

Utilización de la interfaz Ciramex: En este apartado se presenta la aplicación del modelo relación lluvia-escurrimiento con la adaptación metodológica en la distribución espacial de las variables meteorológicas lluvia y evapotranspiración y cambio en el cálculo de la determinación de esta última, para lo cual se utiliza la interfaz Ciramex para las siete versiones Cequeau.

Integración de las cartas temáticas y archivos a Ciramex: La simulación de Cequeau5 versión modificada para krigeado con modelo lineal y con variograma experimental ajustado al con modelo teórico tipo esférico se realizó con los valores de los parámetros de Cequeau versión 3.0 esto es sin modificar para una nueva calibración y validación, esto se tendrán los mismos parámetros del modelo como constantes, y la única variable es el método de la distribución espacial de la lluvia y así se realiza el análisis de sensibilidad.

Con esta información se aplicó la simulación para la calibración y validación del modelo aplicación de la interfaz Ciramex, el periodo de 1948 a 1953 ha sido utilizado para calibrar los parámetros del modelo y el periodo 1954 a 1958 para la validación del modelo en dicha cuenca.

### 3 RESULTADOS

Análisis y discusión de los resultados: La cuenca está localizada en una zona semiárida, con lluvias concentradas en el periodo julio – septiembre y normalmente llueve en toda la cuenca pocos días del año, podría decirse que este tipo de eventos ocurre raramente. La cuenca tiene un escurrimiento medio para los diez años de estudio de 136.68 millones de m<sup>3</sup>; el escurrimiento máximo es de 353.46 millones de m<sup>3</sup> en el año de 1958 y el mínimo es de 37.95 millones de m<sup>3</sup> en 1957.

Con los datos de lluvia de las estaciones en estudio, al aplicar la metodología desarrollada se obtienen las lluvias medias diaria, mensual y anual para cada uno de los diez años escogidos para el estudio. La lluvia media anual de la cuenca, determinada por los tres métodos. La lluvia media anual determinada por el método de krigeado lineal y esférico son prácticamente iguales, y al relacionarla con la lluvia media anual determinada por el método de los polígonos de Thiessen sus valores resultan ser mayores en el 3.38 %.

No así si se compara año con año la precipitación media anual. Por ejemplo, en 1953 la lluvia media calculada por el método de polígonos de Thiessen es menor en el 6.36 % y en el 7.38 % el del krigeado lineal respecto al calculado con krigeado con variograma con modelo teórico tipo esférico.

La lluvia media anual sobre la cuenca para los diez años de estudio al determinarla por el método de krigeado es igual y en los polígonos es mayor en 3.38 % . No así si se compara año con año la precipitación, por ejemplo en el año de 1953 es menor en 6.36 % el de los polígonos y 7.38 % el del Krigeado ordinario respecto a para el calculado por el esférico.

Al compara el volumen escurrido respecto a la lluvia se reporta como dato el año de 1956 que llovió 510 mm y escurrió 154 millones de m<sup>3</sup> y en el año de 1951 en donde escurrió prácticamente lo mismo 155 millones y llovió 10% más esto es 562.56 mm.

Con base en el modelo de la relación lluvia-escurrimiento en la cuenca del río Juchipila para la versión Ciramex para Cequeau versión 3.0 y con modificación de los campos de lluvia, se muestran los resultados en el Cuadro 1. Del análisis de los resultados de Cequeau versión 3.0 y Cequeau5 versión modificada se observa que para la Cequeau versión 3.0 el número del criterio de Nash varía desde un valor mínimo de -0.229, en el año de 1949, a un máximo de 0.687 para el año de 1956, con una media de 0.3965; para la versión modificada con modelo lineal, hay un Nash mínimo de 0.364 para el año de 1950, y un Nash máximo de 0.680 en el año de 1956, con una media de Nash de 0.5526.

Para la versión modificada con modelo esférico un mínimo de 0.402 en el año de 1957, y el máximo de 0.658 para 1956, con una media de 0.5453. Los números de Nash son más cercanos a la media para Cequeau5 versión modificada con modelo esférico, y en todos los casos la lámina calculada (Lc (mm)) es



más cercana a la lámina observada ( $L_o$  (mm)). Cabe mencionar que, para las tres versiones, los valores de los parámetros utilizados en el archivo \*.pah permanecen constantes.

Para los resultados de la simulación de Cequeau versión 3.0 y Cequeau5 versión modificada se muestran los resultados y el valor de la lámina observada ( $L_o$ ) y lámina calculada ( $L_c$ ) de las tres versiones en el cuadro 1 para lo cual el caso de krigeado esférico se cercano en todos los casos y el valor el más cercano el simulado al observado.



Año simulado	Cequeau versión 3.0			Cequeau 5a versión modificada modelo teórico tipo lineal		Cequeau 5b versión modificada modelo teórico tipo esférico	
	Lo	Lc	NASH	Lc	NASH	Lc	NASH
	observada (mm)	Calculada (mm)		Calculada (mm)		Calculada (mm)	
1949	14.67	24.66	-0.229	17.95	0.663	12.67	0.582
1950	12.28	15.26	0.385	16.38	0.364	13.14	0.492
1951	26.97	28.64	0.538	22.14	0.491	16.24	0.419
1952	10.73	19.82	0.478	14.72	0.623	11.97	0.578
1953	24.9	30.21	0.488	24.36	0.576	28.29	0.618
1954	13.09	18.82	0.445	17.1	0.437	14.12	0.505
1955	39.54	33.4	0.547	30.88	0.57	31.97	0.563
1956	26.72	39.75	0.687	31.47	0.68	28.84	0.658
1957	6.58	17.02	0.051	14.23	0.509	11.89	0.402
1958	52.7	55.42	0.575	56.03	0.613	49.86	0.636

Cuadro 1 Resultados Cequeau versión 3.0 y Cequeau5 versión modificada.

Un último ejemplo para mostrar la ilustración 3 en donde se muestran los hidrogramas para el año de 1950, donde se pueden comparar los escurrimientos simulados y observados de las tres versiones para lo que es un criterio y se observa el impacto de la distribución espacial y se complementa el simulado con Cequeau versión 3.0.

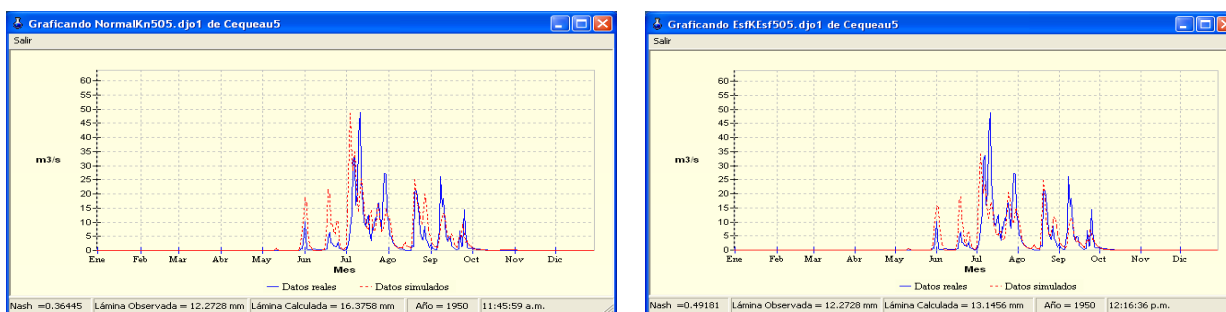


Ilustración 3. Hidrograma simulado y observado del año 1950, con Cequeau versión modificada con modelo lineal y modelo esférico.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En estudios hidrológicos, la simulación hidrológica representa generalmente, la herramienta más confiable y versátil en cuanto a la conceptualización y representación de un sistema hidrológico y el efecto que tendría sobre él la ocurrencia de un evento determinado. En este estudio se evaluó el Sensibilidad en la simulación de caudales a campos de tormenta, río Juchipila, Zacatecas, México.

Se concluye que el patrón de tormenta del variograma ajustado al modelo teórico tipo esférico con parámetros  $\beta$  y  $\alpha$  que es óptimo, respecto a la lluvia diaria, y ratifica que tiene influencia sobre el valor de la lluvia media anual y se puede decir que si cumple con la hipótesis de ergodicidad.

Al analizar para cada año la comparación del criterio de Nash y las láminas calculadas por Cequeau5 versión krigeado con modelo teórico tipo esférico, se comprueba que son más consistentes a las observadas y calculadas con Cequeau versión 3.0 y Cequeau5 versión krigeado ordinario. De este análisis de sensibilidad y con los resultados, y al comparar la simulación de caudales a campos de tormenta se concluye que la versión Cequeau5 versión krigeado con modelo teórico tipo esférico representa mejor la modelación lluvia-escurrimiento para el río Juchipila, Zacatecas, México.

Se ratifica como acertada la decisión en cuanto a la utilización de los mismos parámetros en las tres versiones, con el fin de dejar, como variable solo el campo de tormenta para la comparación. Finalmente, se establece que para utilizar los cambios se desarrolló un código informático (Interfaz Ciramex).que puede utilizarse ampliamente como herramientas para la gestión integral de los recursos hidráulicos.

Ciramex y la distribución espacial de la lluvia: Respecto de la versión Ciramex para Cequeau versión modificada con la distribución espacial de la lluvia, al analizarse los resultados obtenidos para cada año de simulación, y compararlos con el valor del criterio de Nash, se concluye que en el caso de las láminas calculadas respecto a las observadas, Cequeau5 versión krigeado esférico es más consistente y que, por lo tanto, la versión Ciramex para Cequeau5 versión krigeado con variograma teórico de tipo esférico representa mejor la modelación lluvia-escurrimiento para el río Juchipila, Zacatecas, México.

La información climatológica: Debido a que el estado actual de la información climatológica es muy deficiente, hubo de hacerse una propuesta metodológica consistente en calcular datos faltantes por el

método de krigeado con modelo lineal y esférico. Los datos de hidrometría se tomaron con reserva, ya que en ocasiones en que no existe lluvia de todos modos se presentan escurrimientos fuertes. El número de estaciones climatológicas es pequeño en comparación con el área de la cuenca, lo que refleja una carencia importante de instrumentación de la medición importante.

En cierta medida puede concluirse que los errores de interpolación están ligados con la densidad insuficiente de estaciones de medición en cuanto a la extensión espacial de los sistemas de precipitación, Este problema afectaría de igual modo el uso de otros modelos de interpolación y sugiere la instalación de una red más densa o el empleo de imágenes de radar eventualmente disponibles.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y al Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México por las facilidades para la realización de este trabajo.

## 6. LITERATURA CITADA

- Aparicio-M, F, J, *Fundamentos de hidrología de superficie*, Primera edición, México D.F, Limusa, 1989, pp. 140-148.
- Fleming, G, *Deterministic models in hydrology* No 32 FAO Irrigation and Drainage Paper Roma, 1978.
- Cisneros, I, H, L, Bonvie, CH y Domínguez M, R, *Aplicación del método Kriging en la construcción de campos de tormenta en la Ciudad de México*, Ingeniería hidráulica de México, vol. XVI, núm. 3, julio-septiembre 2001, pp. 5-14.
- CNA. *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS)*. Seis CD's. Jiutepec, México: IMTA, Semarnap, Comisión Nacional del Agua, 1997.
- IMTA, *ERIC (Extractor Rápido de Información Climatológica)*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 1996-a.
- Iñiguez, C, M, *Adaptación de un modelo de simulación lluvia-caudal a la alta cuenca del Río Lerma*, Protocolo de investigación, Centro Interamericano de Recursos del Agua, 2006-a, UAEMEX.
- Iñiguez, C, M, Díaz-D C, Khalidou, M, B, De León, M, B, Olvera, A, E., *Análisis de sensibilidad en la construcción de campos de tormenta en el río Juchipila, México*, 1er congreso nacional sobre matemáticas y sus aplicaciones, Chapingo, México, 2006-b, Memorias, pp 315-323.
- Lebel, T and Bastin, G, *Variogram identification by the mean-squared interpolation error method with application to hydrology fields*, Journal of Hydrology vol. 77, 1985, pp 31-56.
- Morin G. et Paquet, P. *Le Modèle de Simulation de Quantité et de Qualité Cequeau*, Guide de l'Utilisateur, Version 2.0 pour Windows. INRS-Eau, Rapport de Recherche n° 435, Québec, 1995, pp, 309.



- Powell, M.J.D. *An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives*, *Computer Journal*, num. 7, 1964, pp. 155-162.
- Sampler, F.J y J. Carrera. *Geoestadística, Aplicaciones a la hidrogeología subterránea*, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona, 1990, pp, 484.
- Singh, P. V. *Hydrologic System, Rainfall-Runoff Modeling Volume I*, Prentice Hall, New Jersey, 1988.
- USDA/ARS, *User's Manual For the GEOPACK (Version 1.0)*, U.S. Environmental protection agency Ada, Oklahoma 74820, 1990
- WMO, *Hydrological models for water-resources system design and operation*, Operational hydrology Report No 34 WMO-No 740, 1990, Secretariat of world Meteorological Organization Geneva, Switzerland.
- WMO, *Simulated real - time intercomparison of models of hydrological*, Report No 38. WMO-No 779, 1992, Secretariat of world Meteorological Organization Geneva, Switzerland.

Extenso ID: 210. Guillermo Cardoso Landaa, María de Lourdes Isabel Ortegón Alvarb.  
METODOLOGÍA INTEGRADA DE INGENIERÍA DE RÍOS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS.  
CASO DE ESTUDIO: CUENCA RH20E

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Instituto Tecnológico de Chilpancingo, Av. Guerrero 81, Chilpancingo, Gro., email:  
gclanda@prodigy.net.mx

<sup>b</sup> Instituto Tecnológico de Chilpancingo, Av. Guerrero 81, Col. Ruffo Figueroa, Chilpancingo, Gro.,  
email: luluortealvar@hotmail.com

## RESUMEN

Para llevar a cabo proyectos de ingeniería de ríos, dentro de una cuenca hidrográfica, se deben tomar en cuenta muchos factores antes de finalizar el plan integral. Ya no es aceptable resolver un problema de ingeniería de ríos en un área pequeña temporalmente, porque estas soluciones temporales y localizadas, de bajo costo, han traído más problemas y efectos adversos a la región más grande afectada por un largo tiempo. Por lo tanto, tiene que llevarse a cabo un estudio amplio y multidisciplinario, antes de que el mejor plan sea aplicado, a fin de satisfacer a un gran número de funciones objetivas tanto como sea posible y, en el proceso, que se cumplan las restricciones necesarias. El Centro Nacional para Hidrociencia e Ingeniería Computacional (*National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE*) de la Universidad de Mississippi, en Estados Unidos, ha estado trabajando durante los últimos veinte años en la integración de modelos computacionales avanzados que van a la vanguardia de la tecnología para llevar a cabo investigación y diseño de ingeniería de ríos, proponiendo la aplicación de una metodología integrada para el análisis de los ríos en cuencas hidrográficas. Más adelante se presentan los resultados de los modelos utilizados para el análisis integral de un río importante del sureste de México, perteneciente a la región hidrológica RH20E, aplicando la metodología integrada de ingeniería de ríos (MIIR) del *NCCHE*. A la fecha se han obtenido los siguientes resultados: 1. Determinación del impacto del cambio climático sobre los escurrimientos superficiales del río Papagayo para los años 2050 y 2080 en 4 diferentes escenarios propuestos por el IPCC; 2. Obtención del gasto ecológico del río Papagayo a través de la metodología holística de *Downstream Response to Imposed Flow Transformations (DRIFT)*; 3. Análisis de las inundaciones a lo largo del río Papagayo, para lo cual se está aplicando el modelo computacional llamado *SWP 3 Urban Flood Modeling*, desarrollado recientemente dentro del FRMRC por *The Centre for Water Systems at University of Exeter* y 4. Cuantificación del transporte de sedimentos del río Papagayo, aplicando el modelo CCHE2D del *NCCHE*.

**Palabras clave:** Cuenca RH20E, Metodología integrada, NCCHE, Cuenca hidrográfica

## 1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, para llevar a cabo proyectos de ingeniería de ríos, se deben tomar en cuenta muchos factores antes de finalizar el plan integral. Ya no es aceptable resolver un problema de ingeniería de ríos en un área pequeña temporalmente, porque de las lecciones aprendidas en el pasado, estas soluciones temporales y localizadas de más bajo costo, han traído más problemas y efectos adversos a la región más grande afectada por un largo tiempo. Por lo tanto, tiene que llevarse a cabo un estudio amplio y



multidisciplinario, antes de que el "mejor" plan sea aplicado, a fin de satisfacer a un gran número de funciones objetivas tanto como sea posible y en el proceso, que se cumplan las restricciones necesarias. El Centro Nacional para Hidrociencia e Ingeniería Computacional (*National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE*) de la Universidad de Mississippi, en Estados Unidos ha estado trabajando durante los últimos veinte años en la integración de modelos computacionales avanzados que van a la vanguardia de la tecnología para llevar a cabo investigación y diseño de ingeniería de ríos. Se aplica la metodología integrada al río Papagayo, para determinar el impacto del cambio climático, el caudal ecológico, las inundaciones y el transporte de sedimentos generados y se propone ser aplicado en el análisis de los ríos y presas de México.

## 1.1 Antecedentes

En los ríos del país de México escurren aproximadamente 400 kilómetros cúbicos de agua anualmente, incluyendo las aguas que entran desde los países vecinos y descontando los que salen hacia ellos. Aproximadamente 87% de este escurrimiento ocurre en 39 ríos principales, cuyas cuencas ocupan cerca del 58% de la extensión territorial continental. Los ríos que acaparan el 65% del escurrimiento son el Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá (cuyas cuencas en conjunto totalizan el 22% del territorio nacional). Los ríos Balsas y Santiago pertenecen a la vertiente del Pacífico y los otros cinco a la vertiente del golfo de México. Por su longitud destacan los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta.



Figura 1. Principales ríos de Mexico

Una parte del agua que escurre por los ríos es actualmente almacenada en presas y se utiliza, entre otros fines, para la producción de alimentos, la generación de energía eléctrica, el control de las inundaciones y el suministro de agua para los usos industrial y doméstico. Las principales presas del país de México comenzaron a construirse antes de 1920 y tuvieron un crecimiento acelerado entre 1940 y 1970. De las más de 4000 presas existentes, 667 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con los criterios de la Comisión Internacional de Grandes Presas. La capacidad de almacenamiento proporcionada es de 150 kilómetros cúbicos de agua y en conjunto equivaldría al 37% del escurrimiento promedio anual del país. Sin embargo, el promedio del volumen de almacenamiento registrado en las 51 presas principales del país entre 1990 y 2004 fue de 61 kilómetros cúbicos. Las presas que registraron los mayores volúmenes promedio de almacenamiento (considerando los años 1990, 1995, 2000, 2003 y 2004) fueron La

Angostura y Malpaso (ambas en el estado de Chiapas, con 10,500 y 8,500 hectómetros cúbicos por año, respectivamente), Infiernillo (Michoacán, 7,600 hectómetros cúbicos) y Temascal (Oaxaca, con cerca de 5,000 hectómetros cúbicos).

A lo largo de estos 39 ríos principales de México y en las 667 grandes presas operando en el país de México se mueve una cantidad importante de sedimentos, que no se han cuantificado de manera precisa en nuestro país y que provocan grandes problemas de inundaciones, desastres y en general, problemas hidrológicos e hidráulicos, que requieren resolverse teniendo como datos, entre otros, el transporte de sedimentos a través de ellos.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

Con las metodologías de solución numérica avanzadas y la tecnología informática potente actual, se han resuelto los modelos matemáticos de hidrosistemas no lineales en forma realista. Adicionalmente con las ciencias computacionales y las tecnologías de la información, tales como los SIG (sistema de información geográfica), GUI (interfaz gráfica de usuario), visualización científica, visualización de realidad virtual, etc., se han aplicado al desarrollo de pre- y post-procesadores de modelos de simulación computacional. Los paquetes de software resultante han sido no sólo potentes y con ambiente amigable, sino también eficientes y rentables.

Como resultado, los modelos de simulación computacionales han sido elaborados y aplicados cada vez más a la investigación y el diseño de la ingeniería de ríos. Últimamente, algunos de estos modelos también se han aplicado para apoyar la toma de decisiones en la planificación y gestión de los recursos hídricos de los ríos. No es sorpresa que el modelado computacional haya sido la metodología más elegida por los ingenieros de ríos recientemente. Ha sido llamado incluso la herramienta de ingeniería y de investigación del siglo XXI. Sin embargo, la falta de control de calidad de algunos de los modelos computacionales en el mercado ha causado serias preocupaciones acerca de su exactitud y fiabilidad.

### **2.1 Ingeniería de ríos por metodología integrada**

Hoy en día, para llevar a cabo proyectos de ingeniería de ríos, se deben tomar en cuenta muchos factores antes de finalizar el plan integral. Estos factores incluyen la hidrología, el cambio climático, la hidrodinámica, mecánica estructural, geotecnología, transporte de sedimentos, morfología, transporte de contaminantes, calidad del agua, ecología y calidad ambiental, rentabilidad, efectos sobre la economía, la sociedad y las partes interesadas, entre otros, como se aprecia en la figura 2. Además, los efectos del proyecto sobre áreas conectadas dentro de una cuenca hidrográfica o cuenca del río, así como su impacto sobre ambas durante un largo período de tiempo debe ser considerado.

Ya no es aceptable resolver un problema de ingeniería de ríos en un área pequeña temporalmente, porque de las lecciones aprendidas en el pasado, estas soluciones temporales y localizadas de más bajo costo, han traído más problemas y efectos adversos a la región más grande afectada por un largo tiempo. Como resultado, ha costado mucho más para corregir los errores.

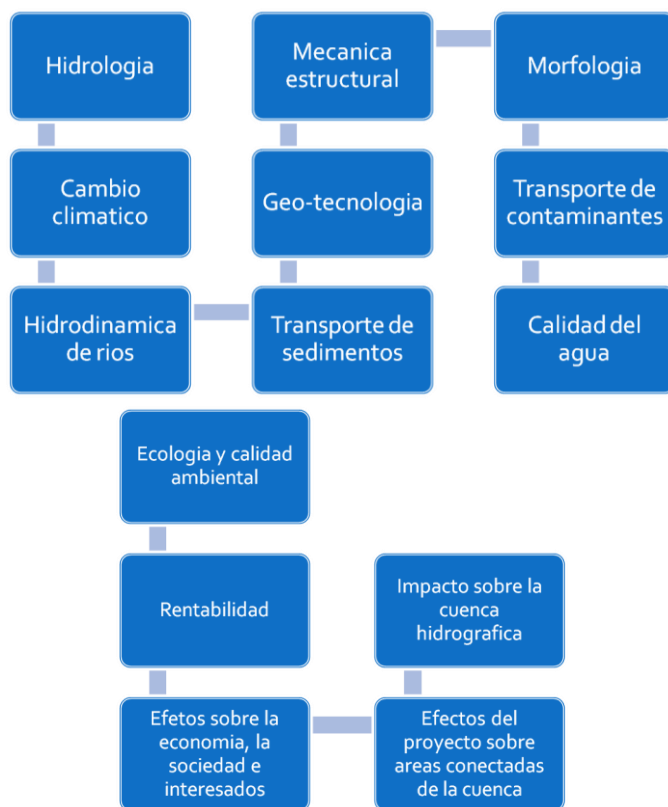


Figura 2. Factores a considerar en proyectos de ingeniería de ríos

Por lo tanto, un estudio amplio y multidisciplinario tiene que llevarse a cabo, antes de que el "mejor" plan sea aplicado, a fin de satisfacer a un gran número de funciones objetivas tanto como sea posible y en el ínter, que se cumplan las restricciones necesarias. Debido al hecho de que algunos de los objetivos o restricciones son mutuamente contradictorias, las metodologías de optimización sofisticada tienen que aplicarse a este complicado proceso de toma de decisiones.

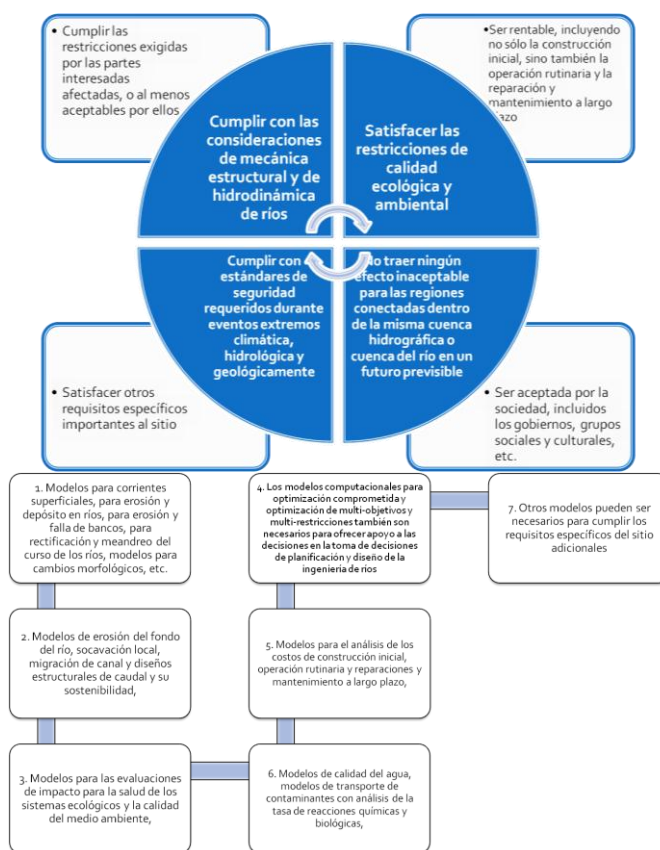


Figura 3. Condiciones que debe cumplir un proyecto de ingeniería de ríos y Modelos computacionales aplicables en la Metodología Integrada de Ingeniería de Ríos (MIIR)

Por ejemplo, al tener un proyecto de planeación de ingeniería de ríos simplificado, antes de tomar la decisión final, el ingeniero de gestión de proyecto necesita asegurarse de que por lo menos el diseño de ingeniería deberá satisfacer las condiciones presentadas en la ilustración 3.

Para llevar a cabo esta tarea de toma de decisiones de planificación y diseño de proyectos de ingeniería de ríos se tiene que aplicar un gran número de modelos computacionales. Algunos ejemplos de ellos se ilustran en el esquema 3.

## 2.2 El NCCHE de la Universidad de Mississippi, USA

El Centro Nacional para Hidrociencia e Ingeniería Computacional (*National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE*) de la Universidad de Mississippi, en Estados Unidos ha estado trabajando durante los últimos diez años en la integración de modelos computacionales avanzados que van a la vanguardia de la tecnología para llevar a cabo investigación y diseño de ingeniería de ríos. Una de las prácticas que se destacó especialmente en el NCCHE es el requisito de llevar a cabo un proceso de verificación y validación de modo integral para cada modelo antes de que sea usado como un módulo del

modelo integrado, por lo que es seguro de que todos los módulos son matemáticamente correctos y capaces de reproducir todos los procesos físicos básicos.

Antes de que un modelo integrado o su módulo se apliquen al estudio de un problema del mundo real en un río natural, se necesita calibrar los parámetros del modelo para asegurarse de que son capaces de representar las características específicas del sitio únicas en el sitio de estudio. Debido a que no hay dos sitios de ríos naturales idénticos, la calibración es clave para asegurar que el uso del modelo puede predecir la respuesta del río de acuerdo a la observación física. Después de que han sido calibrados los parámetros del modelo, éste está listo para ser validado mediante la comparación de los resultados del modelo simulado con datos adicionales que se miden en el sitio de estudio. Si las coincidencias son razonables, especialmente entre las tendencias de las variaciones de las propiedades de campo, el modelo finalmente se valida mediante la realización de los estudios de campo del río.

Este es el enfoque, que ha sido utilizado para completar varios estudios de ingeniería de ríos de manera satisfactoria. Algunos ejemplos típicos son: el río Mississippi, el diseño del sistema para mejorar la navegabilidad del Victoria Bendway (Jia/Wang, 2002; Xu/Wang/Jia 2003), el río Arkansas, el diseño de campo del dique de midreach, entre otros. Se llevaron a cabo otras aplicaciones en estudios de inundaciones por rotura de presas, estudios de morfología y transporte de sedimentos costeros, etc.

Algunas de las investigaciones recientes más importantes relativas al transporte de sedimentos ha sido desarrollada por el Centro Nacional para Hidrociencia e Ingeniería Computacional de la Universidad de Mississippi, en Estados Unidos. Los investigadores de este centro han desarrollado ecuaciones que permiten determinar las capacidades del transporte de sedimento en ríos, tanto para el transporte de fondo como el transporte de sedimento en suspensión; las cuales toman en consideración tanto los efectos visibles como los efectos ocultos a través de distintos tamaños de clase. Asimismo también se desarrollaron ecuaciones para el cálculo de los depósitos de sedimento considerando la porosidad, la velocidad y la rugosidad variable del fondo sobre taludes empinados. Estas ecuaciones fueron calibradas usando una gran cantidad de datos que incluyen mediciones de campo y datos experimentales.

Las ecuaciones de transporte de sedimentos recientemente propuestas por Wu et al. (2000) fueron ensayadas de manera independiente comparándolas con muchos experimentos y datos de campo diferentes, entre los cuales se incluyen los datos de Brownlie (1981) y los datos de Toffaleti (1968). Estas ecuaciones de Wu et al., también se compararon con ecuaciones existentes, como la ecuación de Ackers & White (1973) y su modificación realizada por Proffit & Sutherland (1983), la ecuación de Engelund & Hansen (1967), la ecuación de Yang (1973) y el módulo SEDTRA (Garbrecht et al., 1995).

### **3 RESULTADOS**

Se aplicó la metodología integrada a uno de los ríos más importantes en el sur del país de México, que es el río Papagayo, cuya descarga es al Océano Pacífico, en las costas del Estado de Guerrero.

El Estado de Guerrero está situado al sur de la República Mexicana sobre el Océano Pacífico y se localiza entre los 16° 18' y 18° 48' de latitud norte y los 98° 03' y 102° 12' de longitud oeste. Si bien la totalidad



de su territorio se encuentra en la zona intertropical, su compleja geografía posibilita la existencia de múltiples tipos climáticos.



Figura 4. Delta del río Papagayo y Cuenca del río Papagayo utilizando el SIATL

La Cuenca del Río Papagayo, es la cuenca más importante de esta región y reúne las aguas de los ríos Omitlán, Azul o Petaquillas y Papagayo; este último desemboca en las aguas del Pacífico, dentro de esta cuenca se ubica la Presa Hidroeléctrica La Venta.

Atendiendo a la clasificación de la Comisión Nacional del Agua, la cuenca del Río Papagayo se localiza dentro de la región hidrológica 20 Costa Chica de Guerrero, corresponde a la RH20E, la cual se subdivide en las subcuencas RH20Ea, RH20b, RH20Ec, RH20Ed y RH20Ee.

### 3.1 Impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos del río Papagayo

Se analizó el impacto del cambio climático global esperado para los años 2050 y 2080 sobre los escurrimientos del río Papagayo en los 4 diferentes escenarios propuestos por el IPCC en relación a la precipitación, obteniéndose que incluso todo su ciclo hidrológico se verá afectado de manera significativa en la disponibilidad del recurso agua, en particular debido a la influencia de la ciudad de Chilpancingo. Los porcentajes de variación de la precipitación utilizados se generaron a partir de la respuesta media de 10 modelos recientes de simulación para climas globales, y dichas simulaciones fueron realizadas por 7 laboratorios climáticos localizados en 6 países diferentes. En base a la información disponible de las

estaciones climatológicas las tendencias de cambio climático con los porcentajes de variación de la precipitación resultantes permitieron obtener 14 ecuaciones de variación del porcentaje de disminución del gasto con respecto al porcentaje de disminución de la precipitación (Rodríguez-García y Cardoso-Landa, 2009).

•Para un periodo de retorno de 2 años:

$$\% VQ = (5.567)(\% VP) + 2.6171$$

$$\% VQ = (-0.1175)(\% VP)^2 + (6.9771)(\% VP) - 0.0073$$

•Para un periodo de retorno de 5 años:

$$\% VQ = (3.1772)(\% VP) + 0.5849$$

$$\% VQ = (-0.0263)(\% VP)^2 + (3.4926)(\% VP) - 0.0022$$

•Para un periodo de retorno de 10 años:

$$\% VQ = (2.5032)(\% VP) + 0.5849$$

$$\% VQ = (-0.0136)(\% VP)^2 + (2.6666)(\% VP) - 0.0014$$

•Para un periodo de retorno de 20 años:

$$\% VQ = (2.2363)(\% VP) + 0.2150$$

$$\% VQ = (-0.0097)(\% VP)^2 + (2.3524)(\% VP) - 0.0011$$

•Para un periodo de retorno de 50 años:

$$\% VQ = (2.0299)(\% VP) + 0.1560$$

$$\% VQ = (-0.0070)(\% VP)^2 + (2.1142)(\% VP) - 0.0009$$

•Para un periodo de retorno de 100 años:

$$\% VQ = (1.9228)(\% VP) + 0.1285$$

$$\% VQ = (-0.0058)(\% VP)^2 + (1.9923)(\% VP) - 0.0008$$

•Para un periodo de retorno de 500 años:

$$\% VQ = (1.7571)(\% VP) + 0.0900$$

$$\% VQ = (-0.0041)(\% VP)^2 + (1.8058)(\% VP) - 0.0006$$

Donde:

% VQ = Porcentaje de disminución del gasto.

% VP = Porcentaje de disminución de la precipitación.

### 3.2 Determinación del gasto ecológico del río Papagayo

Un caudal ecológico se define como la cantidad, calidad y variación del gasto o de los niveles de agua reservada para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales. Esto implica que además de proveer agua para los usos domésticos, público urbano, pecuario y agrícola, es posible mantener caudales provenientes tanto del escurrimiento, como de las descargas de los acuíferos para la conservación de los ecosistemas (Brizga et al., 2002).

Existe una abundante variedad de metodologías utilizadas para el cálculo de caudales ambientales o ecológicos, con diferentes criterios, objetivos e intereses. En la actualidad existen aproximadamente 133 metodologías, con más de 208 aplicaciones reales en unos 44 países. Esta gran cantidad de metodologías han sido analizadas y clasificadas de diferentes formas; las más aceptadas y de mayor importancia se pueden agrupar en los siguientes métodos: Métodos Hidrológicos, Métodos Hidráulicos, Métodos de Simulación de Hábitat y Métodos Holísticos (Tharme et al., 2003).

Para la determinación del caudal ecológico en el río Papagayo se seleccionó la metodología holística de *Downstream Responset Imposed Flow Transformations (DRIFT)*, desarrollada por King en 2003, cuyo nombre en español es 'Respuesta río abajo por la transformación impuesta al caudal'. Es una metodología holística, fue desarrollada en Sudáfrica para situaciones complejas y grandes proyectos. Comprende todos aquellos aspectos que interaccionan en los sistemas fluviales, brinda un enfoque integral de las alteraciones que pueden ocurrir río abajo en diferentes escenarios de regímenes de caudal, de tal forma que los tomadores de decisiones podrán decidir la mejor opción conociendo las respuestas del ecosistema, bajo diferentes alternativas de manejo del caudal. Esta metodología incluye elementos biológicos, hidrológicos, hidráulicos, sociales y económicos, que le brindan gran potencial para su aplicación, en sistemas fluviales donde el desarrollo de obras de infraestructura repercuten en los medios de subsistencia de las poblaciones locales (King et al., 2003).

Un elemento innovador de esta metodología es el componente socioeconómico y la versatilidad de poder incluir o no módulos de acuerdo con la realidad del sitio en estudio. Es una herramienta de negociación de conflictos que se puede fortalecer con evaluaciones macroeconómicas (nivel regional o nacional) y procesos participativos a través de metodologías imparciales como puede ser el marco lógico. La metodología DRIFT comprende cuatro módulos, el biofísico, socioeconómico, desarrollo de escenarios y el ecológico.

Actualmente se encuentra en desarrollo la aplicación del DRIFT al río Papagayo, teniendo resultados del modulo biofísico; están pendientes y en trabajo de campo los módulos socioeconómico, desarrollo de escenarios y ecológico.

### 3.3 Inundaciones a lo largo del río Papagayo

Para determinar las inundaciones sobre el río Papagayo en el mes de septiembre del año 2013, durante la presencia de la tormenta tropical Manuel y el huracán Ingrid, se está aplicando la metodología propuesta por *The Flood Risk Management Research Consortium (FRMRC)*, desarrollado por un conjunto de instituciones académicas del Reino Unido durante el periodo de 2004 a 2008. En particular se está aplicando el modelo computacional llamado SWP 3 *Urban Flood Modeling* y desarrollado recientemente dentro del FRMRC por *The Centre for Water Systems at University of Exeter* (Duncan et al., 2011 y 2013), Hammond et al., (2013).



Figura 5. Acción conjunta de la tormenta tropical Manuel y el huracán Ingrid sobre México en septiembre del año 2013 e inundación y daño en casas por el desbordamiento del río Huacapa en la ciudad de Chilpancingo



Se presenta en la ilustración siguiente la zona de inundación obtenida con el software ya comentado en la zona seleccionada a lo largo del río Huacapa.



Figura 6. Inundaciones urbanas Chilpancingo al aplicar el *SWP3 Urban Flood Modelling*

### 3.4 Transporte de sedimentos del río Papagayo

Después de revisar algunos de los modelos de transporte de sedimentos recientemente desarrollados y comparar sus fundamentos, ecuaciones y rangos de aplicación con las características de algunos ríos más importantes de México, se estableció que los modelos de transporte de sedimentos propuestos recientemente por el Centro Nacional para Hidrociencia e Ingeniería Computacional (*National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE*) de la Universidad de Mississippi, en Estados Unidos pueden ser aplicados en estos ríos, siendo necesaria su aplicación, calibración y comparación de resultados obtenidos, lo cual se desarrollará en trabajos posteriores.

Después de analizar los diferentes modelos desarrollados por el NCCHE, se selecciono el modelo de flujo no permanente, acoplado, bidimensional CCHE2D, para determinar el transporte de sedimentos del río Papagayo. El efecto de flujo secundario en el flujo principal y el transporte de sedimentos en canales curvos, se han considerado también en la versión actual del modelo CCHE2D.

Finalmente se aplicó el modelo CCHE2D del NCCHE y se cuantificó el transporte de sedimentos del río Papagayo, mostrándose en la ilustración siguiente algunos resultados del transporte de sedimentos cuantificado, en la figura 7. Es conveniente comentar, que solamente se presenta un resultado de cada caso para no saturar el presente artículo, aunque se obtienen una cantidad importante de resultados en cada caso.



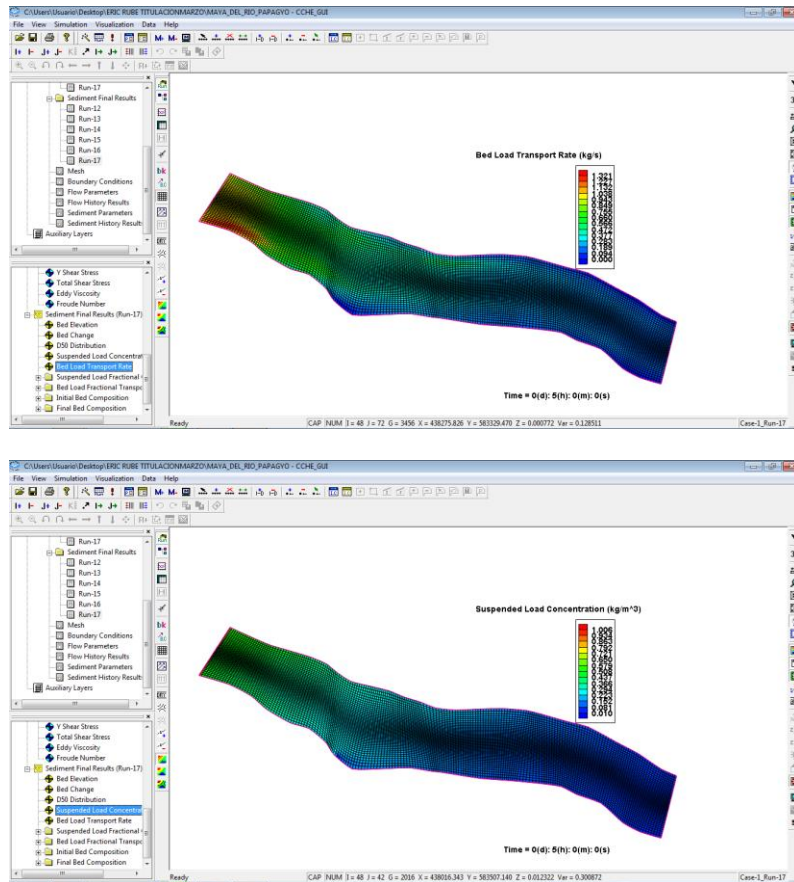


Figura 7. Magnitud de la carga de fondo y de la carga suspendida al aplicar el modelo CCHE2D en la zona de estudio

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como se aprecia en la sección de resultados, se encuentra en aplicación la Metodología Integrada de Ríos a uno de los ríos más importantes del sureste del país de México, que es el río Papagayo, con resultados alentadores, que permiten identificar la importancia de la aplicación de esta metodología a algunos ríos del país de México.

Es conveniente comentar asimismo, que la presente es la primera aplicación de la Metodología Integrada de Ingeniería de Ríos (MIIR) a un río mexicano.

Se encuentra en desarrollo la siguiente etapa de la aplicación de la MIIR al río Papagayo, la cual se dará a conocer en próxima fecha.

## 5. LITERATURA CITADA

- Duncan A., Chen A., Keedwell EC., Djordjević S., Savić D. 2013. RAPIDS: Early Warning System for Urban Flooding and Water Quality Hazards Machine, *Learning in Water Systems symposium*, AISB.



- Duncan A., Chen A., Keedwell EC., Djordjević S., Savić D. 2011. Urban Flood Prediction in Real-time from Weather Radar and Rainfall Data using Artificial Neural Networks, *Weather Radar and Hydrology Symposium*, Exeter.
- Hammond MJ., Chen A.S., Djordjević S., Butler D., Mark O. 2013. Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review, *Urban Water Journal*, pages 1-16.
- King J.M., Brown C.A. & Sabet H. 2003. A scenario based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River Research and Applications*, 19: 619-640.
- King J.M., Tharme R.E. & DE Villiers M.S. eds. 2002. Environmental flow assessments for rivers: Manual for the building block methodology. *Water Research Commission Technology Transfer Report No. TT131/00*. Pretoria, SA, Water Research Commission. 340 pp.
- Rodríguez-García, J. L., Cardoso-Landa, G. 2009. Vulnerability of the hydraulic resources of the river basin of the San Juan-Brave river with the global climatic change, *World Environmental & Water Resources Congress*, Kansas City, Missouri, USA.
- Tharme R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19: 397-442.
- Vieira and Wu. 2002. National Center for Computational Hydrosience and Engineering (NCCHE). University of Mississippi, USA. *Technical report No. NCCHE-TR-2002-5*
- Woodward M., Gouldby B, Kapelan Z, Khu S. T., Townend I. 2011. Real Options in flood risk management decision making, *Journal of Flood Risk Management*, volume 4, no. 4, pages 339-349.
- Wu AND Wang. 1999. Movable bed roughness in alluvial rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125 (12), 1309-1312.
- Wu et al. 2000. Nonuniform sediment transport in alluvial rivers. *Journal of Hydraulic Research*, 38 (6), 427-434.

Extenso ID: 276. Alvarez Guillermo Lizbeth y Gerardo Sánchez Torres Esqueda. MODELACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RIO LOS HULES CONSIDERANDO EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

[Regresar al índice](#)

## Resumen

La simulación climática actualmente es una herramienta útil para obtener un panorama del impacto, la adaptabilidad y la vulnerabilidad ante cambios futuros realizados a diferentes escalas. Lo que concierne al presente trabajo se modela la disponibilidad del agua en la cuenca del Río los Hules, que comprende los municipios de Xochicoatlán, Calnali, Yahualica, Huazalingo, Atlapexco y Huejutla, del estado de Hidalgo. La vulnerabilidad que prevalece en la huasteca es la falta de infraestructura hidráulica según el diagnóstico elaborado por Denise Soares en una publicación del IMTA, en el año 2006. Al realizar la modelación climática y la disponibilidad de agua en la región, se aprecia un aumento en el gasto del río, un aumento en la temperatura y un cambio en los periodos de lluvia. Para la modelación climática se usó el programa MAGICC-SCENGEN y para la modelación de la disponibilidad de agua se aplicó WEAP (Water Evaluation And Planning System). Se aplicaron tres modelos en dos escenarios (A2 Y B2). Según los resultados en Magicc, el cambio posible más alentador es el del modelo GFDLCM21-A2 y el más adverso UKHADCM3-B2, estos modelos se tomaron a su consideración en el año 2010, ya que eran los recomendados por el IPCC para usar en esta región geográfica. En Weap, se analizan los escenarios intermedios del resultado de MAGICC.

## I. INTRODUCCIÓN.

### 1.1 ANTECEDENTES

En los últimos años se han realizado estudios de simulación climática para obtener un panorama de los impactos, la adaptabilidad y la vulnerabilidad ante los futuros cambios. Algunos han sido realizados por medio de instituciones gubernamentales, no gubernamentales (ONG), organizaciones mundiales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

En México, las Naciones Unidas trabajan mediante proyectos de colaboración técnica que se llevan a cabo en una acción conjunta tanto con el gobierno federal y los gobiernos locales, como también con la academia, el ámbito empresarial y la sociedad civil del país.

Los investigadores y científicos, tomadores de decisiones, representantes de ONGs, de agencias de las ONU y del sector privado se encuentran unidos para realizar estudios entorno al tema; la UNAM a través del Centro de Ciencias de la Atmósfera, así como también la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), por medio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), por mencionar algunos.

Para adentrarse al tema es necesario comprender algunos conceptos sobre cambio climático que el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) en el 4 informe define de la siguiente manera:

- Vulnerabilidad: es el grado en el que un sistema es **susceptible** a, (o es **incapaz** de tolerar), los efectos adversos del cambio climático, *incluyendo la variabilidad climática y sus extremos*.
- Adaptación: es el “Ajuste” o adecuación del sistema natural o humano en respuesta a los estímulos climáticos (reales o esperados) o a sus efectos.
- Los impactos del cambio climático se observan en los sistemas biológicos (cambio en la productividad, calidad de la productividad, población o rango), sistemas humanos (cambio en el ingreso, salud, mortalidad, o alguna otra medida de bienestar).

En 2004 el IMTA llevó a cabo el “Diagnostico socio-hídrico participativo y elaboración de plan de acción para la optimización del uso y manejo del agua en la región de la huasteca en el estado de Hidalgo”<sup>1</sup>, en donde menciona la problemática actual del agua en la región:

“La problemática del agua en la región gira entorno a la escasez progresiva del recurso y su contaminación en los últimos años. Con relación a la escasez del agua, los habitantes sufren por el creciente desabasto, sobre todo en los últimos años, durante los cuales los efectos del periodo de sequía se han acentuado.”

“Las principales causas de los problemas asociados con el agua, son la deforestación provocada por la población y por los desastres naturales (huracanes)”

---

<sup>1</sup> Los resultados del Diagnostico, se encuentran publicados en el libro “Entre la abundancia y la escasez: paradoja hídrica en la Huasteca hidalguense”.



## 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la huasteca hidalguense hace falta un estudio que manifieste la disponibilidad de agua debido a los cambios climáticos futuros.

## 1.3 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Modelar la disponibilidad del recurso agua, considerando los efectos del cambio climático en la cuenca del Río los Hules ubicado en la región de la huasteca hidalguense.

## 1.4 HIPÓTESIS

La disponibilidad del agua en el Río los Hules de la Huasteca hidalguense se verá afectada de manera negativa por el cambio climático.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

Este estudio pretende incitar a realizar un estudio más completo sobre la problemática a futuro en cuanto a la disponibilidad del agua en la región de la huasteca hidalguense.



## FUNDAMENTOS

### 2.1 MARCO TEÓRICO

Figura 2.1. Ubicación del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

El estado de Hidalgo se localiza al centro del país, representa el 1.1% de la superficie del país. (INEGI, 2000). La región Huasteca hidalguense se sitúa al noreste del estado de Hidalgo (Fig. 2.1) donde se encuentra el río los Hules, con las coordenadas 20°46' y 21°08' de latitud norte, 98°23' y 98°40' de longitud oeste.

La Huasteca Hidalguense se ubica en la provincia de la Sierra Madre Oriental en la subprovincia del Carso Huasteco (que tiene una extensión dentro del estado de 9,712.93 km<sup>2</sup>), en las áreas más bajas al norte y noreste del Estado, donde se localizan la mayoría de los sistemas de topofomas clasificados como Valle de Laderas Tendidas. (INEGI). Está formada por los municipios de Atlapexco, Huautla, Huazalingo, Huejutla de Reyes, Jaltocan, San Felipe Orizatlan, Xochiatipan, Yahualica, Pisaflores, Chapulhuacán, Lolotla y Tlanchinol. <sup>1</sup> Colinda al sur-suroeste con la región natural de la Sierra Alta, al este con el estado de Veracruz y al norte con los estados de Veracruz y San Luis Potosí.

Para el presente trabajo se considero a los municipios: Atlapexco, Calnali, Huazalingo, Huejutla de Reyes, Xochicoatlán y Yahualica. Que tienen aportaciones al río los Hules.

Tabla 2.1. Localización de los municipios

Municipio	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Atlapexco	21°01' N	98°21' O	160
Calnali	20°54' N	98°35' O	960
Huazalingo	20°59' N	98°30' O	900
Huejutla de Reyes	21°08'' N	98°25' O	140
Xochicoatlán	20°46' N	98°40' O	1680
Yahualica	20°57' N	98°23' O	660

msnm = metros sobre el nivel del mar.

Fuente: Enciclopedia de los municipios de México.

---

<sup>1</sup> Según la división de Regiones Naturales del estado de Hidalgo.

La Huasteca es la región más baja de la entidad, se caracteriza por un clima caluroso y húmedo.<sup>2</sup>

Tabla 2.2. Superficie de los municipios

Municipio	Superficie (km2)	% Sup. del estado
Atlapexco	84.80	0.40
Calnali	190.20	1.10
Huazalingo	113.10	0.54
Huejutla de Reyes	377.80	1.80
Xochicoatlán	159.30	0.76
Yahualica	164.50	0.73
Total	1089.70	5.33

Fuente: Enciclopedia de los municipios

Tabla 2.3. Ríos que cruzan en la región.

Municipio	Ríos
Atlapexco	El Atempa, Los Hules y Atlapexco
Calnali	Calnali, Tetila-Quetzalongo, Acuapa-Huazalingo, Chichayotla, techimico, Agua salada, Contzintla y Agua Bendita
Huazalingo	Yeguatztintla y Hules
Huejutla	Chinguiñoso, Tecoloco, Candelaria y Santa Cruz
Xochicoatlán	Chinameca, Tecamachal, Xocontla
Yahualica	El encimal, Atempa

Fuente: Enciclopedia de los Municipios de México.

## ESCENARIO SOCIOECONÓMICO

Para estudiar a la Huasteca Hidalguense, Denisse Soares la divide en 3 partes: Parte Alta; **Huazalingo, Calnali** y Tlanchinol.

Parte Media; Huautla, Xochiatipan, **Yahualica y Atlapexco**. Parte Baja; **Huejutla de Reyes**, Jaltocan y San Felipe Orizatlan.

<sup>2</sup> Enciclopedia de los Municipios de México.

“La región es eminentemente rural, con una concentración poblacional en la ciudad de Huejutla de Reyes. Considerando los tres municipios ubicados en la parte baja de la cuenca, ahí se concentra el 53% de la población de la Huasteca Hidalguense. La parte media registra el 27% de los habitantes y la alta el 20%”<sup>3</sup>

Tabla 2.4. Evolución demográfica

Municipios	Población		
	2000	2005	Proyección 2010
<b>HIDALGO</b>		2,345,514	2,446,907
Atlapexco	18,029	18,769	19,445
Calnali	16,381	15,876	15,390
Huazalingo	11,130	11,863	12,549
Huejutla	108,239	115,786	122,841
Xochicoatlán	7,519	6,954	6,481
Yahualica	20,727	22,238	23,663

Fuente: CENSO 2000 y el II Conteo de Población y Vivienda 2005. (INEGI).

“Uno de los graves problemas de la Huasteca es la carencia de la infraestructura que permita cosechar y almacenar la elevada cantidad de lluvia que se precipita en la región. En la época de sequía, la escasez de agua es severa, provocando un impacto negativo no solo en el abasto de agua a nivel domestico, si no también agrícola, acarreando pérdidas significativas en la producción agropecuaria.”<sup>4</sup>

Lo que corresponde al agua potable ninguno de los municipios cubre al 100% la distribución, solo unos pocos se acercan al 50% de cobertura.<sup>5</sup>

<sup>3</sup> Pág. 20 del Libro “ ENTRE LA ABUNDANCIA Y LA ESCASEZ: Paradoja hídrica en la Huasteca hidalguense”

<sup>4</sup> Pág. 34 del Libro “ ENTRE LA ABUNDANCIA Y LA ESCASEZ: Paradoja hídrica en la Huasteca hidalguense”

<sup>5</sup> En los datos recabados por Denisse Soares, et. al. En el primer capítulo del libro, se puede apreciar que ninguno de los municipios cubre la demanda de agua potable.

Tabla 2.5. Servicios con los que cuenta cada municipio.

Municipio	Servicios
Atlapexco	Agua potable, drenaje (escaso) y electricidad (95% de la pob.)
Calnali	Agua potable (79%), electricidad (82%) y drenaje (16%).
Huazalingo	Agua potable, drenaje, electricidad (menos del 50 %).
Huejutla	Agua potable, electricidad, drenaje, alcantarillado
Xochicoatlán	Agua potable, electricidad y drenaje.
Yahualica	Agua potable, drenaje, electricidad, alcantarillado.

Fuente: Enciclopedia de los Municipios de México.

En la región destacan dos actividades, la agrícola y la pecuaria. La agricultura que se practica es de temporal, teniendo mayor importancia el cultivo del maíz. La actividad ganadera es mayormente extensiva (pastoreo). Hay otras explotaciones pecuarias en la región de menor importancia.

Tabla 2.6. Tipos de cultivos por municipio.

Municipio	Tipos de cultivo
Atlapexco	Maíz, caña piloncillo, frijol, café cereza y naranja
Calnali	Maíz, pasto forraje, café cereza, naranja, limón agrio.
Huazalingo	Maíz, Frijol, Café, Naranja, limón persa, caña piloncillo
Huejutla de Reyes	Maíz, frijol, tomate, café, chile, naranja limón, plátano, mango papaya, lima y guayaba
Xochicoatlán	Maíz, frijol, café, naranja, caña piloncillo.
Yahualica	Maíz, frijol, café cereza, naranja y caña de azúcar.

Fuente: Enciclopedia de los Municipios de México.

Tabla 2.7. Animales de explotación por municipio.

Municipio	Animales que se explotan
Atlapexco	Guajolotes, aves, bovino, porcino, colmenas, y ovino
Calnali	Aves, ganado bovino, porcino, ovino, equino, abejas.
Huazalingo	Ganado bovino de leche y carne, ovino, porcino, caprino, aves de postura y engorda, guajolotes y colmenas.
Huejutla de Reyes	Ganado bovino, porcino, ovino, colmenas, aves de engorda y postura, guajolotes y conejos. Carpa, bagre y barrigona
Xochicoatlán	Ganado bovino de leche y carne, ovino, porcino y caprino, aves de postura y engorda, pavos y apicultura.
Yahualica	Ganado bovino de leche y carne, ovino, porcino y caprino, aves de postura y engorda, guajolotes y colmenas. Carpa herbívora, plateada, espejo, bagre y barrigona.

Fuente: Enciclopedia de los Municipios de México.



Tabla 2.8. Actividades económicas por municipio.

Municipio	Actividades económicas
Atlapexco	Pequeños establecimientos comerciales, Tiendas DICONSA, tiendas LICONSA y mercado municipal.
Calnali	Agroindustria (tostado y empaque de café, elaboración piloncillo, elaboración muebles), maquiladoras, tiendas DICONSA y tianguis.
Huazalingo	Pequeñas tiendas, tianguis y tiendas DICONSA. Industria artesanal del tipo textil y talabartería
Huejutla de Reyes	Tianguis, tiendas rurales y urbanas, almacenes DICONSA, central de abastos, agroindustria (empaquetado de café, fabricación de muebles, curtido de pieles) y corredor industrial a partir del 2004
Xochicoatlán	Básicamente tiendas campesinas y rurales.
Yahualica	Tiendas campesinas y rurales, venta de productos lácteos y frutícolas.

Fuente: Enciclopedia de los Municipios de México.

Tabla 2.9. Población económicamente activa por sector en cada municipio.

Municipio	Sector Primario		Sector Secundario		Sector Terciario		Total municipal
	PEA ocupada	%	PEA ocupada	%	PEA ocupada	%	
Atlapexco	3,443	70.5	393	8.0	1,046	21.4	4,882
Calnali	3,469	69.2	500	10.0	1,044	20.8	5,013
Huazalingo	2,471	77.3	238	7.4	487	15.2	3,471
Huejutla	13,051	40.8	4,904	15.3	14,009	43.8	31,051
Xochicoatlán	1,362	58.7	373	16.1	585	25.2	2,320
Yahualica	4,523	81.1	379	6.8	673	12.1	5,575

Fuente: Enciclopedia de los Municipios de México. PEA= Población Económicamente Activa

## ESCENARIO HÍDRICO

La cuenca del río Moctezuma se localiza dentro de la región hidrológica No. 26, ocupando la subcuenca denominada con la letra D de esta región.<sup>6</sup> Está limitada por las cuencas hidrográficas: al sur con del río Balsas, al oriente con

<sup>6</sup> Según cartas hidrológicas de aguas superficiales “CD. VALLES F14-8” Y “PACHUCA F14-11” del INEGI.

las del río Tuxpan, Cazones y Tecolutla, al poniente con la del río Lerma y al norte con las de los ríos Tempoal y Panuco.<sup>7</sup>

El río Moctezuma forma parte de la cuenca del Pánuco, esta formado por dos principales ríos el Tula y San Juan. El río San Juan se considera su colector general. Se forma principalmente por los ríos: San Juan del Río, Hondo, Tecozautla, Estorax, Tulancingo, Amejaque, Amajac, Claro, Calabozos, Los Hules, San Pedro, Tula, Tempoal y Axtla.

Los ríos que cruzan a la Huasteca: Los Hules, San Pedro y Calabozos. Se describe a continuación la cuenca del río los Hules acuerdo al “Estudio de la calidad del agua en la cuenca del Río Moctezuma”, realizado por la Secretaria de Ecología del INE:

**Cuenca río Los Hules.** Nace en la sierra Madre Oriental, a la altura del poblado de Molango en el estado de Hidalgo, su rumbo generalmente es noroeste. La cuenca de este río es ocupada por los municipios de: Xochicoatlán, Calnali, Yahualica, Huazalingo, Atlapexco y Huejutla, todos pertenecientes al estado de Hidalgo. Solo existe una estación climatológica en esta cuenca, ubicada en el municipio de Huejutla con el número 13011 de identificación.  
¡Error! Marcador no definido. (Ver anexo 1)

---

<sup>7</sup> INE, Estudio de la calidad del agua en la cuenca del río Moctezuma. 1987

El clima predominante en la Huasteca es el cálido-húmedo en sus diferentes graduaciones. (Ver tabla 2.10) En la parte suroccidental del Carzo Huasteco predomina un clima menos caluroso, denominado semicálido húmedo, con lluvias todo el año.<sup>8</sup> (Ver tabla 2.11)

Tabla 2.10. Temperatura media anual

Municipio	Temperatura media anual (°C)
Atlapexco	22.00
Calnali	19.00
Huazalingo	21.00
Huejutla de Reyes	31.10
Xochicoatlán	19.00
Yahualica	20.00

Fuente: Enciclopedia de los Municipios de México

Tabla 2.11. Precipitación pluvial anual

Municipio	Precipitación pluvial anual (mm)
Atlapexco	1,800
Calnali	2,500
Huazalingo	2,350
Huejutla de Reyes	1,500
Xochicoatlán	1,890
Yahualica	1,900

Fuente: Enciclopedia de los Municipios de México.

Composición general del suelos existente en la cuenca (Ver anexo 2):<sup>7</sup>

Cuenca Los Hules: acrisol, feozem, litosol, luvisol, regosol, remozima y vertisol.

---

<sup>8</sup> Lucio Gutierrez Herrera, et. al., “La configuración Regional de la Huasteca”

Tabla 2.12. Clasificación del suelo

Municipio	Clasificación del suelo
Atlapexco	Suelo arcilloso con capa abundante de humus, se caracteriza por ser muy fértil.
Huazalingo	Pertenece a la etapa terciaria, de tipo pardo y rojizo, rico en materia orgánica y nutrientes. (Litosol 80%, Feozem 10% y Regozol 10%)
Xochicoatlán	De tipo semidesértico, rico en materia orgánica y nutrientes.
Yahualica	De origen mesozoico, es de tipo negro, rico en materia orgánica y nutrientes.

Fuente: Enciclopedia de los Municipios de México.

## MARCO CONCEPTUAL

Se realizó investigación literaria sobre los trabajos e informes realizados a nivel mundial (principalmente elaborados por el IPCC), a nivel nacional (realizados por el Centro de Ciencias de la Atmosfera de la UNAM, Consejos de Cuenca, CONAGUA, INE, INEGI, SEMARNAT) y los elaborados a nivel regional.

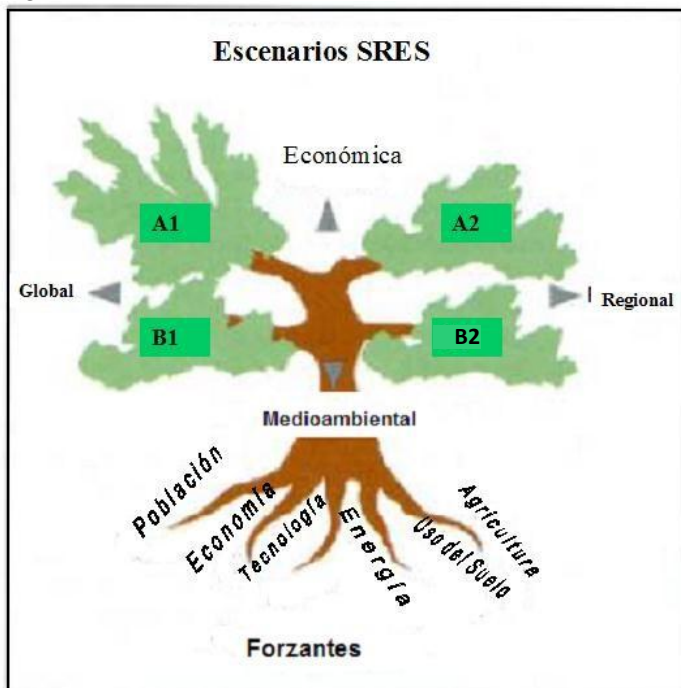
Se consiguieron los programas recomendados para realizar las modelaciones necesarias y se estudió cada uno para poder aplicarlos. Para la modelación del impacto climático en la cuenca del río los Hules se utilizó el programa MAGICC-SCENGEN y en la modelación de la disponibilidad del agua el programa Water Evaluation And Planning System (WEAP).

*MAGICC (versión 5.3)* construye escenarios de cambio climático, es un programa afín con el Cuarto Informe del IPCC, Grupo 1 (AR4) explotación. Permite convertir las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) en concentraciones atmosféricas modelando los ciclos de esos gases en la atmosfera.

Usa los escenarios **A1**, **B1**, **A2** y **B2**, Conde (2007), a continuación se describe cada uno<sup>9</sup>:

<sup>9</sup> Memorias del Sexto Simposium de los consejos de Cuenca del Organismo de Cuenca Golfo Norte

Fig. 2.2 Escenarios de cambio climático



Fuente: Memorias del Sexto Simposium de los consejos de Cuenca del Organismo de Cuenca Golfo Norte, Noviembre 2007

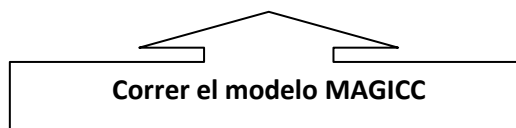
**A1:** Rápido crecimiento económico, nuevas tecnologías más eficientes; el crecimiento poblacional alcanza su máximo para mediados del siglo XXI, los mecanismos de mercado dominan la economía. Subdivisiones: A1FI: dependencia en combustibles fósiles; A1T: dependencia en combustibles no- fósiles; A1B: dependencia balanceada de fuentes de energía.

**A2:** Mundo heterogéneo. Conservación de identidades locales, aumento continuo en la población, crecimiento económico y avances tecnológicos fragmentados, dependen de la región considerada.

**B1:** Uso de tecnologías limpias y eficientes, reducción de consumo material, soluciones globales a problemas económicos y medioambientales, mejor distribución de la riqueza, el crecimiento poblacional alcanza su máximo para mediados del siglo XXI.

**B2:** Soluciones locales a problemas económicos y medioambientales; crecimiento poblacional menor que A2; menor cambio tecnológico que en B1 y A1.

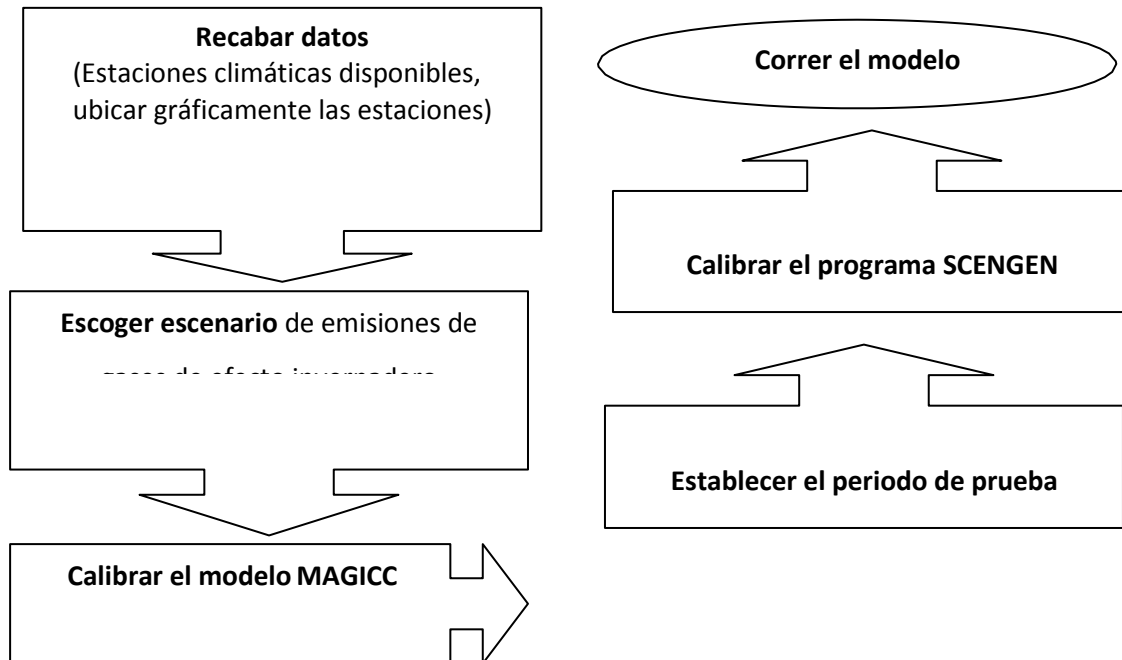
Posteriormente se generó información de apoyo para delimitar el área de estudio, sus principales características e información que se ingresó a los programas (datos geográficos, estadísticos, censos poblacionales, hidrológicos, entre otros).





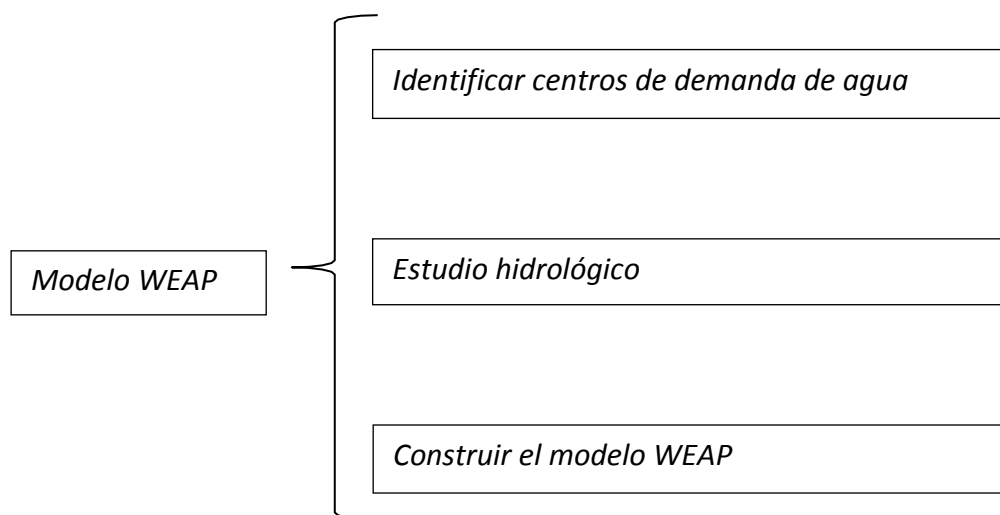
Una vez delimitada el área de estudio se realizaron las corridas necesarias en el programa MAGICC-SCENGEN, los datos se guardaron en el procesador de textos Excel según coordenadas y a los años.

En el siguiente diagrama se describe el proceso.



Terminado lo anterior se comenzó a recabar las variables necesarias para poder correr el programa WEAP.

WEAP funciona usando el principio básico de balance de masa pudiendo ser utilizado para sistemas municipales y agrícolas, en una sola cuenca o en sistemas complejos de cuencas. Por otra parte, WEAP puede simular una amplia gama de los componentes naturales e intervenidos de estos sistemas, incluyendo escurrimientos generados por precipitación, flujos base, recarga de acuíferos por precipitación, análisis de las demandas sectoriales, políticas de conservación del agua, derechos de agua y prioridades de asignación, operación de embalses, generación hidroeléctrica, seguimiento de procesos de contaminación y calidad del agua, evaluaciones de vulnerabilidad, y requerimientos hídricos de los ecosistemas. Además, un módulo de análisis financiero incorporado en WEAP permite también que el usuario investigue y lleve a cabo comparaciones de costo-beneficio para diferentes proyectos (Lee et al., 2005, Sieber and Purkey, 2007).



En los capítulos siguientes (III Y IV) se enuncia más a detalle el proceso que se llevo a cabo en cada modelación.

## MODELACIÓN DEL IMPACTO CLIMÁTICO

*“El clima es lo que esperas, el estado del tiempo es lo que obtienes”<sup>1</sup>*

DR. CECILIA CONDE

Para la modelación del impacto climático se uso el programa Magicc\_Scengen, documentado por Wigley (2008).

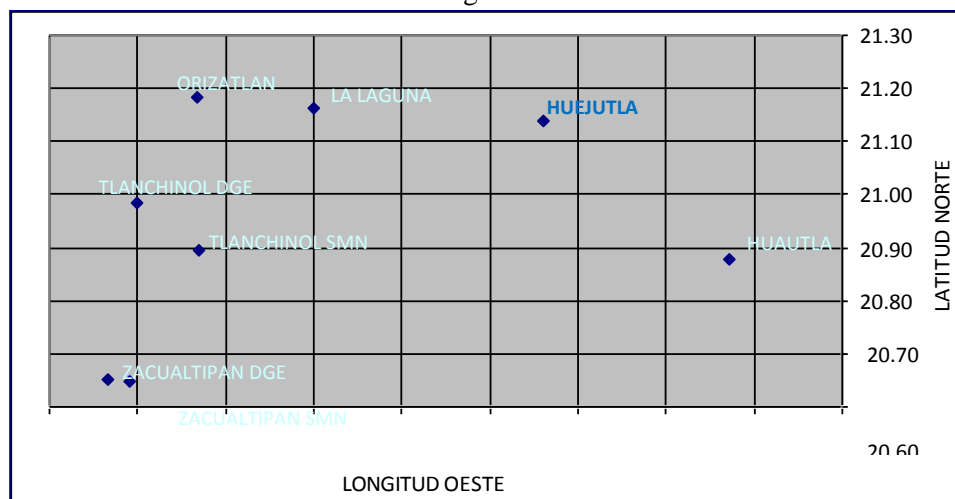
Es necesario conocer las coordenadas de la estación meteorológica de referencia, para ubicarla en el programa.

Tabla 3.1 Localización de estación meteorológica.

No. Estación	Nombre	Coordenadas Latitud Norte	Longitud oeste
13011	Huejutla	21.14	98.42

Fuente: Con datos del Servicio Meteorológico Nacional

Grafica 3.1. Ubicación de estaciones meteorológicas.



Fuente: Elaboración propia con datos del Servicio Meteorológico Nacional

Datos ingresados al programa Magicc\_Scengen fueron los siguientes:

Selección de dos escenarios de emisiones: escenario político “B2-MES” y escenario de referencia “A2MES”.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Frase de la Dra. Cecilia Conde en una exposición del Sexto Simposium de los Consejos de Cuenca del Organismo de Cuenca Golfo Norte.

Establecimiento de parámetros para el modelo (se usaron los predeterminados por el programa): modelo del ciclo del carbono “medio”, realimentaciones dentro del ciclo del carbono “abierto”, forzando al aerosol “medio”, sensibilidad “2.6 °C”, circulación termina “variable”, difusión “2.3 cm<sup>2</sup>/s”, deshielo “medio”, modelo “usuario”.

Parámetros de salida: año de referencia “1990”, primer año “1990”, último año “2100”, intervalos “5”.

Correr el modelo.

Se entra a “SCENGEN” para definir los parámetros: se analiza el “cambio”, modelos usados (cada modelo se corrió para cada año) “GFDLCM21, MPIECH-5 y UKHADCM3”, variables “temperatura” y “precipitación”, periodo “anual”, año “desde el 2010 al 2060” (corrida por año).

Se realizaron las corridas necesarias y se agruparon los resultados. (Ver anexo 3).

### ***Cuenca Los Hules***

Tabla 3.4. Estaciones de la Cuenca Los Hules

Núm.	Estación	Temperatura (° c)	Precipitación (mm)
13011	Huejutla	24.00	1461.90

Se calculó la temperatura y precipitación para el periodo por año de acuerdo a cada modelo y escenario.

---

<sup>2</sup> Los escenarios seleccionados son los recomendados para México por los expertos en el tema y por el Centro de Ciencias de la Atmosfera de la UNAM.

Se determinó en qué zona climática se hallaba la cuenca y si mostraba algún cambio, por medio de la relación P/T (precipitación/temperatura) ó  $I_L$  (Índice de Lang), se interpreta de la manera siguiente, Urbano (1995):

Tabla 3.5. Zonas climáticas de Lang

$I_L$	Zonas Climáticas
$0 \leq I_L < 20$	Desierto
$20 \leq I_L < 40$	Zona árida
$40 \leq I_L < 60$	Zona húmeda de estepa y sabana
$60 \leq I_L < 100$	Zona húmeda de bosques ralos
$100 \leq I_L < 160$	Zonas húmedas de bosques densos
$I_L \geq 160$	Zonas hiper húmedas de prados y tundras

Fuente: Informe Técnico de la Cuenca del Río Guayalejo-Tamesí

Se observó que la cuenca del río Los Hules se halla en una zona húmeda de bosque ralo según los datos históricos, pero comienza desde el 2010 en todos los modelos y escenarios en la zona húmeda de estepa. (Ver anexo 3)

Para determinar el tipo de año (muy húmedo, húmedo, normal, seco y muy seco) e ingresar al modelo WEAP, se calculó la anomalía en cada año en base a la precipitación del periodo 2010-2060, tomando en cuenta que el año 2010 es un “año normal” se estableció el siguiente criterio: (Ver tabla 3.6)

Una disminución del 60% de la anomalía de la precipitación: Año muy seco.

Una variación del 60.1% al 80% de la anomalía de la precipitación: Año seco.

Una variación del 80.1% al 120% de la anomalía de la precipitación: Año normal.

Una variación del 120.1% al 140% de la anomalía de la precipitación: Año húmedo.

Un aumento mayor al 140% de la anomalía de la precipitación: Año muy húmedo.



Tabla 3.6. Tipo de año para los escenarios y modelos, periodo 2010-2060, para la cuenca del Río los Hules.

AÑO	A2			B2		
	GFDLCM21	MPIECH-5	UKHADCM3	GFDLCM21	MPIECH-5	UKHADCM3
2010	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2011	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2012	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2013	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2014	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2015	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2016	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2017	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2018	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2019	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2020	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2021	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2022	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2023	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2024	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2025	Normal	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal
2026	Normal	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal
2027	Normal	Seco	Seco	Normal	Normal	Normal
2028	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
2029	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
2030	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
2031	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
2032	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
2033	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
2034	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
2035	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
2036	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
2037	Seco	Seco	Muy seco	Seco	Seco	Seco
2038	Seco	Seco	Muy seco	Seco	Seco	Muy seco
2039	Seco	Seco	Muy seco	Seco	Seco	Muy seco
2040	Seco	Seco	Muy seco	Seco	Seco	Muy seco
2041	Seco	Muy seco	Muy seco	Seco	Seco	Muy seco
2042	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Seco	Seco	Muy seco
2043	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Seco	Muy seco	Muy seco
2044	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2045	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2046	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2047	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2048	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2049	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2050	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2051	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2052	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2053	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2054	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2055	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2056	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2057	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco

Continuación...

AÑO	A2			B2		
	GFDLCM21	MPIECH-5	UKHADCM3	GFDLCM21	MPIECH-5	UKHADCM3
2058	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2059	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco
2060	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco	Muy seco

NOTA: El tipo de año mostrado en esta tabla se mantiene idéntico para las tres cuencas estudiadas.

Se puede observar en la tabla que en los primeros quince años se mantiene una condición “Normal” y los últimos 18 años se tienen años “Muy seco”.

## MODELACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA

Identificar los centros de demanda de agua:

Centros de demanda municipal:

Población en el censo del 2005 (INEGI) ver tabla 2.4

Censo de población 2010 (ver tabla 2.4)

Índice de crecimiento de población:

Tabla 4.1 Índice de crecimiento de la población.

MUNICIPIO HIDALGO	ICP 2000-2005
	0.85
Atlapexco	0.71
Canalí	-0.62
Huazalingo	1.13
Huejutla	1.19
Xochicoatlán	-1.4
Yahualica	1.25

Fuente: INEGI 2005

Proyección de población 2011-2030 (CONAPO)<sup>1</sup>

Dotación m<sup>3</sup>/hab/año (de acuerdo al reglamento de construcción del D.F.)<sup>2</sup>

Variación mensual dotación.

Estudio hidrológico:

Área de la cuenca. Cartas hidrológicas de aguas superficiales “Cd. Valles F14-8” y “Pachuca F14-11” del INEGI (1:50,000). Ver tabla 2.2

<sup>1</sup> Proyecciones municipales 2005 al 2050 de CONAPO

<sup>2</sup> Normas técnicas complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas. Reglamento de Construcción del Distrito Federal.

Tipos de suelo (% del área de la cuenca)

Usos de suelo (% del área de la cuenca)

Pendiente del cauce principal

Calculo de los coeficientes de escurrimiento (método del SCS)<sup>3</sup>

Calculo de los volúmenes de escurrimiento (método del SCS)

Precipitación efectiva mensual (Ver anexo 1 )

Porcentaje de la precipitación efectiva

Evaporación mensual (ver anexo 1)

Construcción del modelo WEAP:

Insertar mapa con extensión SHP (ARCVIEW shape)<sup>4</sup>

Dibujar el esquema de la cuenca. Fig. 4.1

*Río:* Los Hules.

*Acuíferos:* Atlapexco-candelaria.

*Centros de demanda:* Atlapexco, Canalí, Huazalingo, Huejutla de reyes, Xochicoatlan, Yahualica.

*Conexiones de transferencia y flujos de retorno.*

- Insertar corridas:

Escenario base SIN cambio climático.

Año base: 2010 NORMAL Periodo: 2011-2060

Escenario A2, modelo GFDLCM21, periodo: 2011-2060

---

<sup>3</sup> Notas del curso de Ingeniería de Recursos Hidráulicos

<sup>4</sup> El mapa de la Cuenca del río los Hules fue obtenido del Simulador de flujos de cuencas hidrográficas (INEGI-SIATL)

Escenario A2, modelo MPIECH-5, periodo: 2011-2060

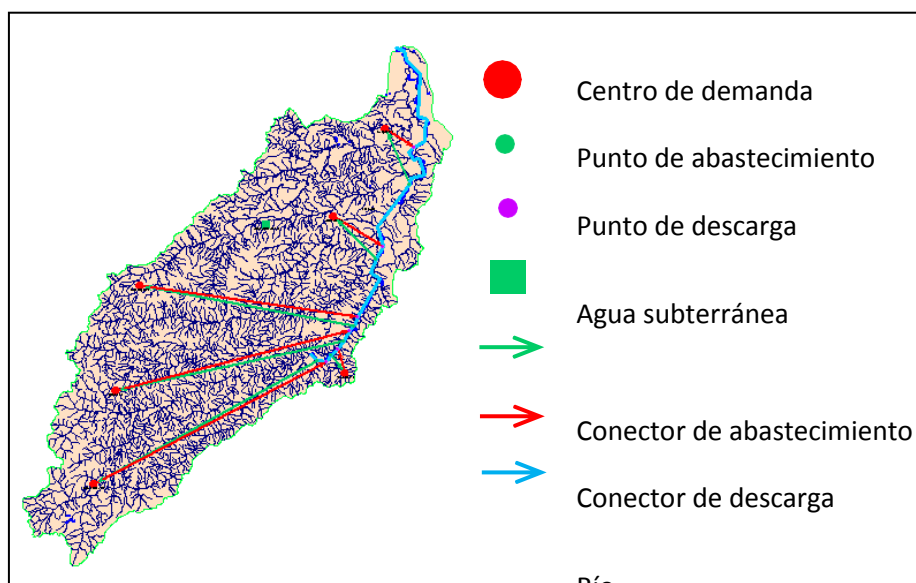
Escenario A2, modelo UKHADCM3, periodo: 2011-2060

Escenario B2, modelo GFDLCM21, periodo: 2011-2060

Escenario B2, modelo MPIECH-5, periodo: 2011-2060

Escenario B2, modelo UKHADCM3, periodo: 2011-2060

Figura 4. 1. Esquema final en WEAP, Río Los Hules.



Se ingresaron datos a los *centros de demanda*; población, dotación anual del consumo por persona, porcentaje de la variación mensual de la demanda.

**Hidrológicos:** Definir valor para cada tipo de año, secuencia de años (tipo de año húmedo-seco) para cada escenario según la anomalía de la precipitación (presentados al final del capítulo III) (Ver tabla 3.6).

**Recursos y abastecimiento:** Esguerrimiento para el río los Hules en cada modelo y escenario, y los datos del acuífero Atlapexco-Candelaria.

Para obtener el escurrimiento ( $V_e$ =Velocidad de escurrimiento) de cada cuenca, se necesitó conocer el coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) dado en %, el área ( $A_c$ ) en  $\text{km}^2$ , la precipitación mensual ( $P_m$ ) en mm (precipitación que resultado de la modelación en MAGICC) y los segundos que tiene un mes ( $t$ ).

Usando la siguiente fórmula:

$$V_e = \frac{P_m * C_e * A_c}{t}$$

Estos datos se ingresaron en archivo de texto separado por comas.<sup>5</sup>

Para finalizar esta modelación se verificaron los datos y se corrió el programa con los siete escenarios.

#### Resultados

Los resultados se resumen en los siguientes gráficos, en donde se observa los cambios de flujo del río los Hules en diferentes perspectivas.

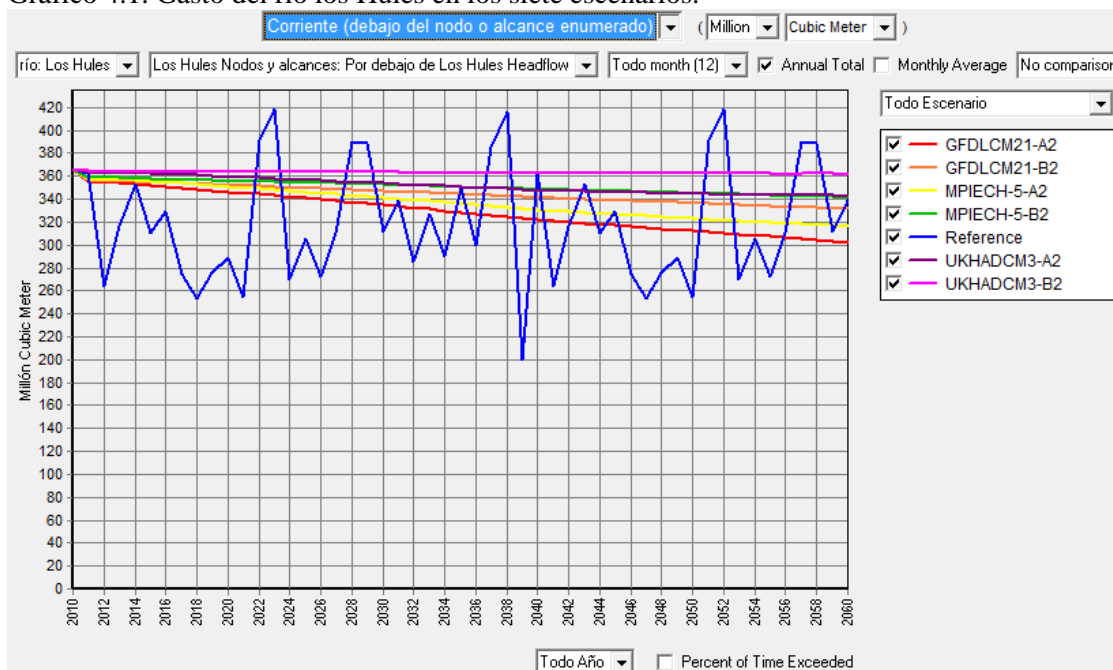
En el gráfico 4.1 el gasto proyectado del escenario de referencia oscila a lo largo del periodo. En los escenarios con cambio climático se observa una disminución del gasto en diferente proporción para cada escenario, con una misma tendencia.

---

<sup>5</sup> Ver el apartado de ayuda de WEAP para la construcción de archivos con extensión CSV.

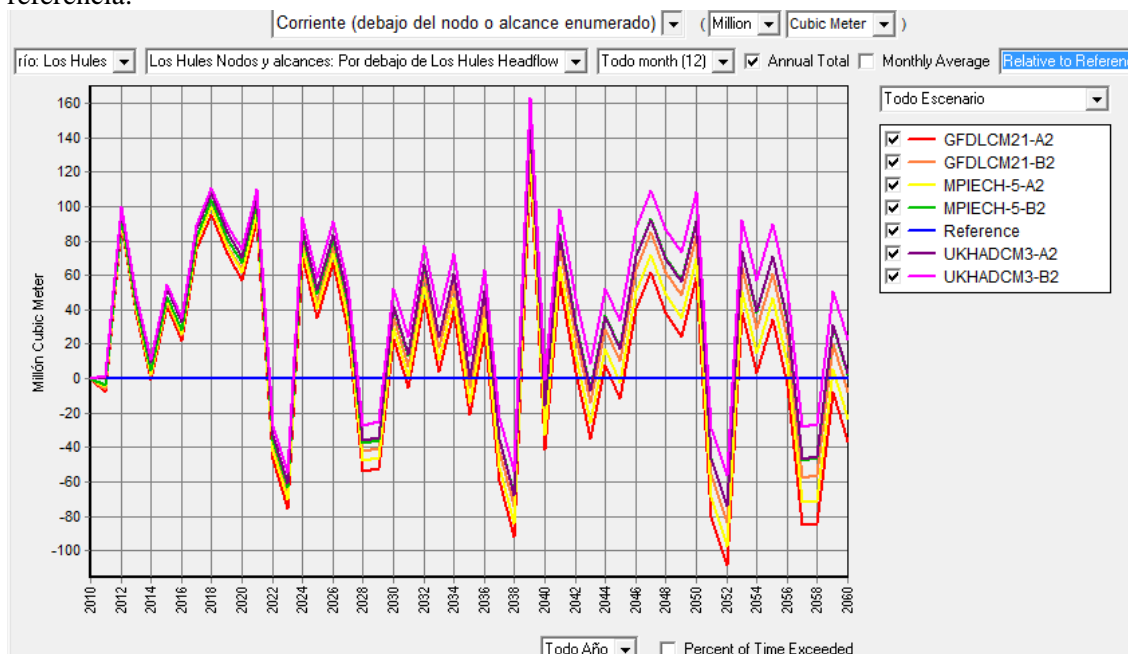


Gráfico 4.1. Gasto del río los Hules en los siete escenarios.



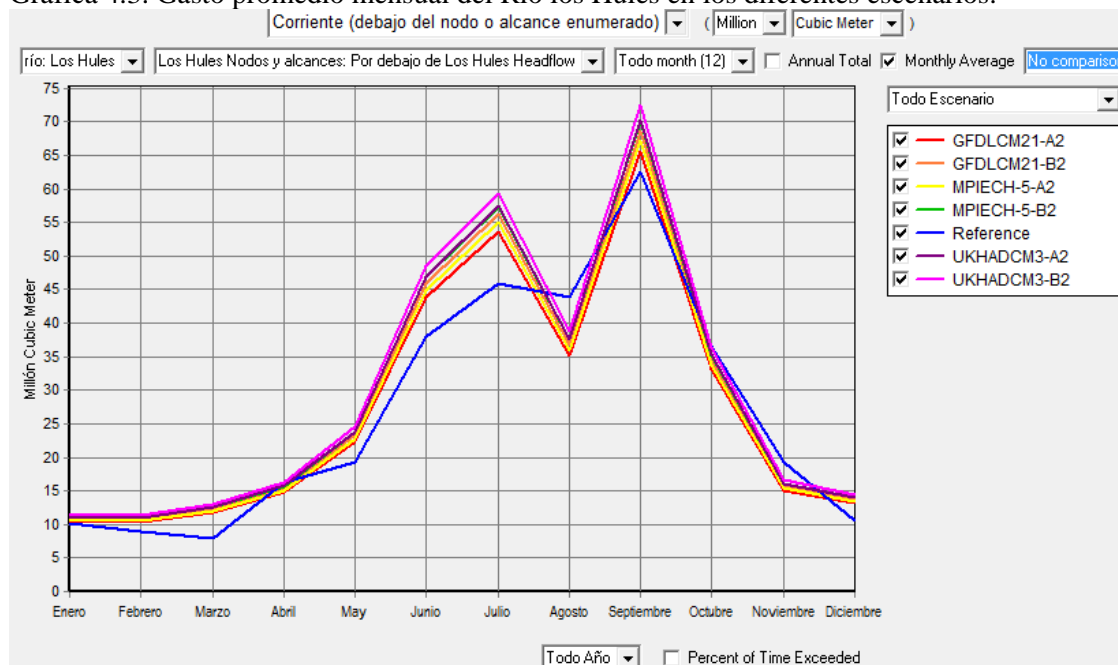
El escenario alentador es el UKHADCM3-B2 el cual muestra una ligera disminución, por el contrario el GFDLCM21-A2 muestra un mayor descenso de gasto.

Gráfico 4.2 Gasto del Río los Hules en los diferentes escenarios con respecto al escenario de referencia.



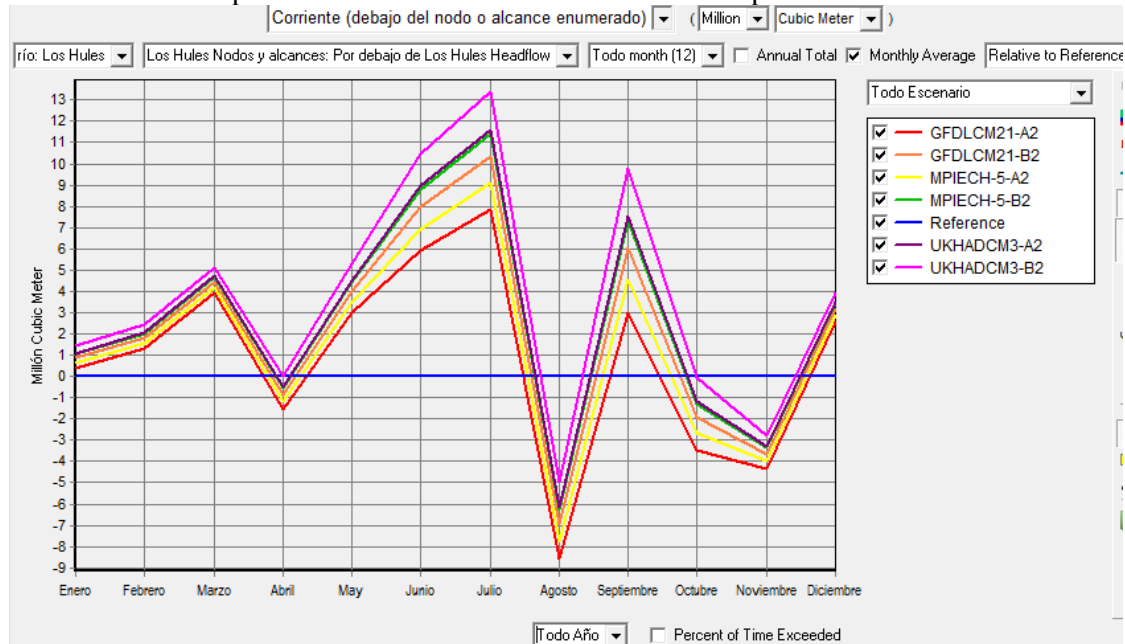
En el gráfico 4.2 se observa como se mueve el gasto del Río los Hules respecto al escenario de referencia. Conforme a las condiciones que se han ido dando años atrás si habrá cambios y en algunos años se puede llegar a sentir con mayor impacto.

Grafica 4.3. Gasto promedio mensual del Río los Hules en los diferentes escenarios.



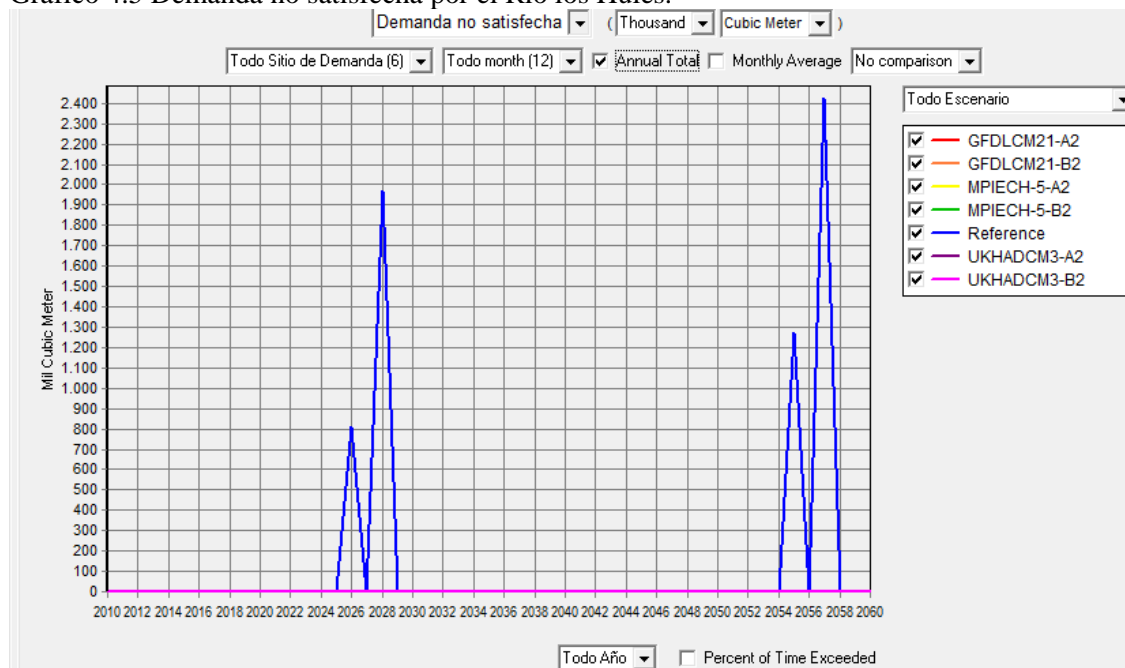
Se observa en las graficas 4.3 y 4.4 el aumento del gasto con respecto al escenario de referencia, contrariamente a lo que se proyecta en el periodo 2010-2060.

Gráfica 4.4. Gasto promedio mensual del Río los Hules con respecto al escenario de referencia.



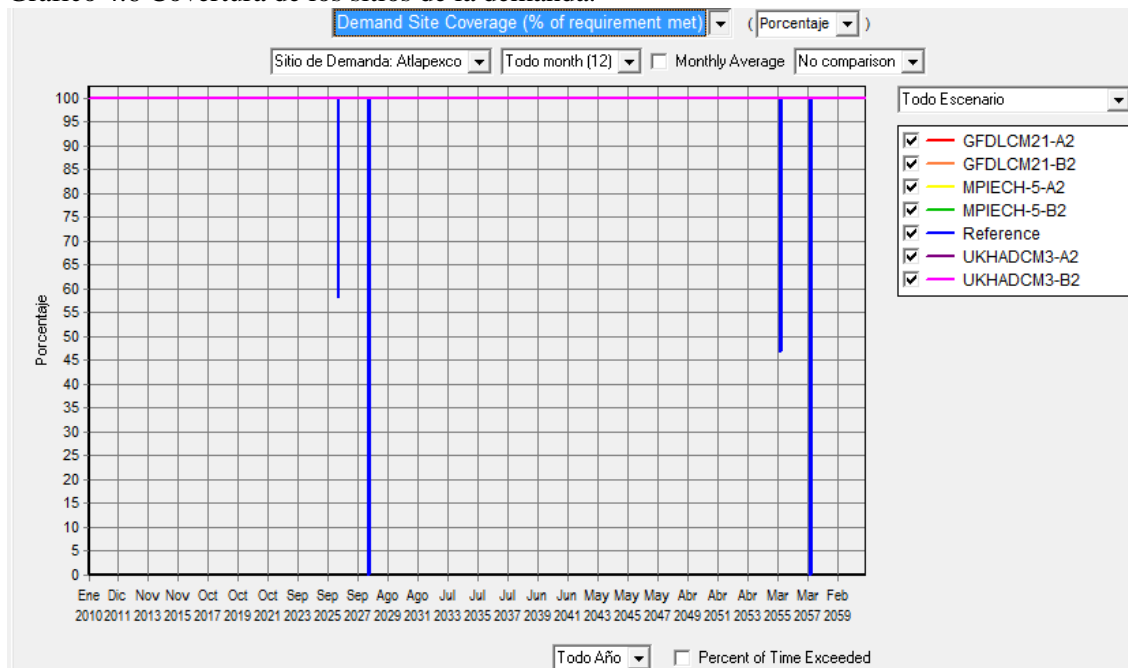
El mayor aumento de gasto con respecto a la línea de referencia se presenta en el mes Julio con unos 13 millones de  $m^3$  y la mayor disminución que se tiene es en el mes de Agosto de -8.5 millones de  $m^3$ .

Gráfico 4.5 Demanda no satisfecha por el Río los Hules.



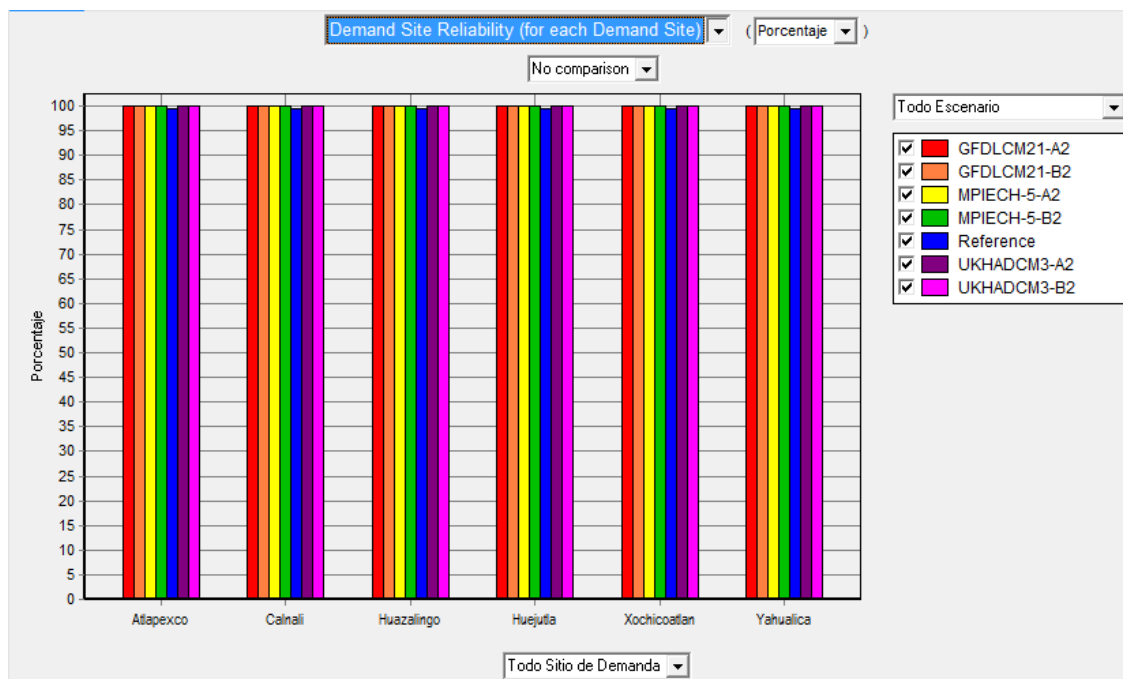
La demanda hecha por los municipios de la cuenca del Río se ve satisfecha en el periodo proyectado en todos los escenarios, exceptuado por el escenario de referencia.

Grafico 4.6 Covertura de los sitios de la demanda.



La demanda tiene una covertura del 100% en todos los casos, menos en el escenario de referencia, era de esperarse ya que en los datos históricos existen dos años de sequía y estos datos se duplicaron para acompletar la secuencia de años.

Grafico 4.7 Confiabilidad en el sistema de los sitios de demanda



Estas últimas gráficas nos muestran que se puede confiar en el sistema, el único escenario en el que existe variaciones y no alcanza el cien porciento de confiabilidad, es por que presenta cuatro momentos en el periodo donde no alcanza a cubrir las demandas de los municipios, proyectando situaciones criticas para los habitantes.

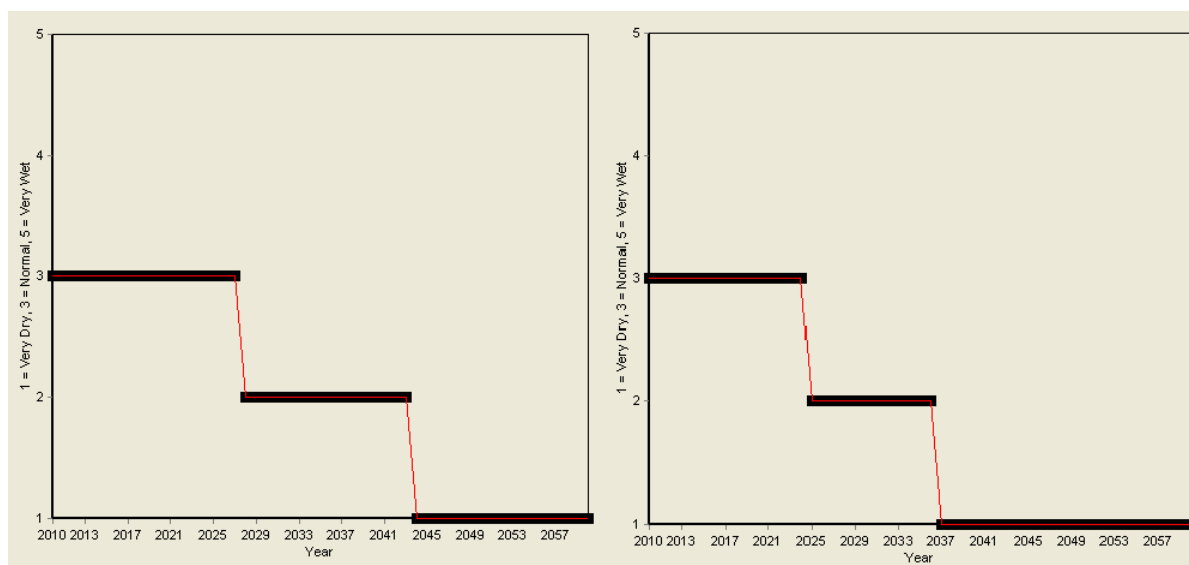
## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según los resultados arrojados por los modelos en el programa Magicc, podemos observar que el cambio posible más alentador es del modelo GFDLMCM21 en el escenario A2 y el más adverso nos lo muestra el modelo UKHADCM3 en el escenario B2.

*En otras palabras; el modelo GFDLCM21 en el escenario que supone un aumento continuo de la población, asimismo un crecimiento económico y tecnológico a nivel regional, se proyecta un panorama alentador. Por el contrario en el modelo UKHADCM3 considerando que disminuye el aumento de la población y dando soluciones a nivel local a los problemas económicos y medioambientales usando al mínimo la tecnología, se proyecta que los cambios adversos se ven venir más pronto.*



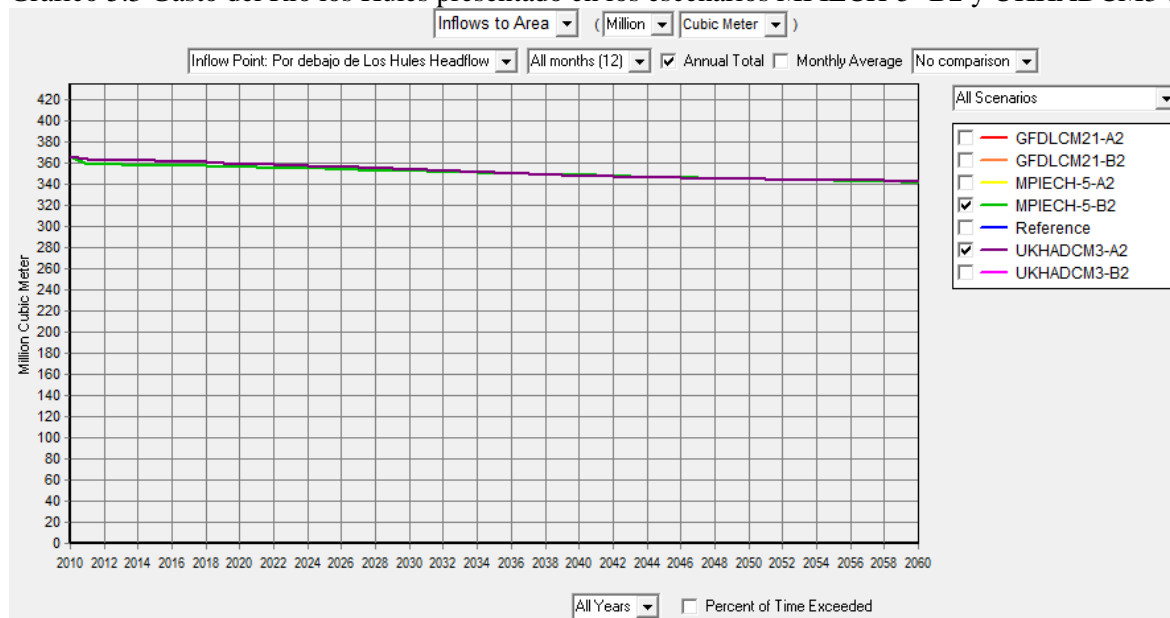
Grafica 5.1. GFDLCM21-A2 Grafica 5.2. UKHADCM3-B2



A nivel global el modelo UKHADCM3 en el escenario B2 se muestra más adverso que cualquier otro modelo.

De acuerdo a las estadísticas realizadas por el Centro de Ciencias de la Atmosfera de la UNAM, de los modelos usados el que tiene un mejor desempeño en la república mexicana es el modelo MPIECH-5<sup>1</sup>. En WEAP los modelos MPIECH-5-B2 y UKHADCM3-A2 se traslapan en casi todo el periodo (ver gráfico 5.3, tabla de resultados ver anexo 5), estos datos se pueden tomar en vez de un promedio de los seis escenarios, son dos escenarios muy semejantes y además uno calificado con un buen desempeño en la República mexicana.

Gráfico 5.3 Gasto del Río los Hules presentado en los escenarios MPIECH-5- B2 y UKHADCM3-A2



<sup>1</sup> Según la guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional, Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM, pág. 24

Independientemente del modelo o escenario que se elija, la proyección del gasto del Río los Hules que desciende al paso de los años, sin embargo en el promedio mensual se aprecia un gasto mayor en el río, comparándolo con el escenario de referencia.

En general se proyecta disponibilidad del recurso agua para la demanda de las poblaciones en la cuenca.

Para lograr una modelación de mayor presión, es necesario ingresar la mayor cantidad de variables posibles. Algunas de las variables que no se ingresaron al modelo son: demanda por distritos de riego (actualmente no existen), demanda industrial y calidad del agua; el estudio encontrado específico para la cuenca se encuentra obsoleto, sus datos son de los años 80's.

Y en referencia a la calidad del agua en la región la mayoría de las localidades no cuenta con tratamientos para la red de alcantarillado y se vierte directamente al margen del río. Resulta irrelevante la idea de aumento del volumen mensual en el río los Hules.

Para una mejor proyección del gasto en el Río los Hules y la demanda de agua en la cuenca, se recomienda una revisión de las variables disponibles para ingresarlas.

#### BIBLIOGRAFÍA POR NÚMERO DE REFERENCIA UNIDAD I

- 1 ONU/WWAP (Naciones Unidas/Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos). 2003. 1er Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para todos, agua para la vida. París, Nueva York y Oxford. UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y Berghahn Books.

#### UNIDAD II

Página oficial del Estado de Hidalgo.

“División de Regiones Naturales del estado de Hidalgo” [www.hidalgo.gob.mx](http://www.hidalgo.gob.mx)

Enciclopedia de los Municipios de México <http://intranet.e-hidalgo.gob.mx/enciclomuni/index.html>

3, 4, 5 Soares, Denise. Entre la abundancia y la escasez: paradoja hídrica en la huasteca hidalguense / Denise Soares... et al. – Jiutepec, Morelos: IMTA, 2006. 164 pp.

Cartas Hidrológicas de Aguas Superficiales “Cd. Valles F14-8” Y “Pachuca F14-11”, elaboradas por el INEGI

Libros INE, “Estudio de la calidad del agua en la Cuenca del Río Moctezuma”. Clasificación AE 002368

Página oficial de CNA Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/>

Normales de las Estaciones Climatológicas del Estado de Hidalgo Enlace:

<http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/cnormales.html>

Gutiérrez, Lucio. La configuración Regional de la Huasteca / Lucio Gutiérrez Herrera... et. al. – Instituto Hidalguense de Educación Media Superior y Superior, Gobierno del Estado de Hidalgo, Invierno 1997.

Memorias del Sexto Simposium de los consejos de Cuenca del Organismo de Cuenca Golfo Norte, “Cambio Climático: Impacto, Vulnerabilidad y Adaptación”. Expositores: Dra. Cecilia Conde y Dr. Gerardo Sánchez. CONAGUA, Consejos de Cuenca, Ingenieros sin Fronteras México, Noviembre 2007.

### UNIDAD III

Memorias del Sexto Simposium de los consejos de Cuenca del Organismo de Cuenca Golfo Norte, “Cambio Climático: Impacto, Vulnerabilidad y Adaptación”. Expositores: Dra. Cecilia Conde y Dr. Gerardo Sánchez. CONAGUA, Consejos de Cuenca, Ingenieros sin Fronteras México, Noviembre 2007.

Centro de Ciencias de la Atmosfera de la UNAM. <http://www.atmosfera.unam.mx/>

Página para obtener información del programa Magicc-Scengen versión

5.3 : <http://www.cgd.ucar.edu/>

Tom M.L. Wigley, 2008, NCAR, Boulder, CO. MAGICC/SCENG 5.3: USER MANUAL (version 2)

Programa Nacional Hídrico 2007-2012. [www.weap21.org](http://www.weap21.org).

Atlas climatológicos digitales de México. [www.atmosfera.unam.mx/uniatmos/atlas](http://www.atmosfera.unam.mx/uniatmos/atlas)  
Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report.

Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability

Página del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática <http://inegi.gob.mx/>

Página del IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático) <http://www.ipcc.ch/>

“Agua para todos, agua para la vida”, Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, UNESCO- WWAP, 2003.

LEE, et al. 2005. WEAP. Water Evaluation And Planning System USER GUIDE. Stockholm Environment Institute Tellus Institute 11 Arlington Street Boston, MA 02116-3411 USA. 176pp.

Sieber J and D. Purkey., 2007. WEAP. Water Evaluation And Planning System USER GUIDE for WEAP21. Stockholm Environment Institute.

U.S. Center. 219pp.

..., Weap Tutorial, febrero 2009. Stockholm Environment Institute. 225pp.

Esqueda, Dr. Gerardo Sánchez Torres. Consejos de Cuenca: Cambio climático y políticas de adaptación en los consejos de cuenca en México. Estudio de caso: Comisión de Cuenca del Río Guayalejo-Tamesí, del Consejo de Cuenca del Río Pánuco.”

### UNIDAD IV

[www.conapo.gob.mx](http://www.conapo.gob.mx)

Proyecciones municipales de población 2005 al 2030

Normas técnicas complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas. Reglamento de Construcción del Distrito Federal.

Notas del curso de Ingeniería de Recursos Hidráulicos impartido por el Dr. Gerardo Sánchez Torres Esqueda, Profesor-Investigador de la Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller”, Universidad Autónoma de Tamaulipas. C.U. Tampico-Madero, C.P. 89339 Tampico, Tamaulipas, México. E-mail: [gsanchezt@uat.edu.mx](mailto:gsanchezt@uat.edu.mx)



Inegi- siatl (simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas)

[http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#)

Para la creación de archivos con extensión .CSV ir a “Ayuda WEAP”, en el apartado “Data Variables”.

#### UNIDAD V

Guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional. Centro de ciencias de la atmosfera, UNAM. Primera versión. Noviembre 2008.

Libros INE, “Estudio de la calidad del agua en la Cuenca del Río Moctezuma”. Clasificación AE 002368

Soares, Denise. Entre la abundancia y la escasez: paradoja hídrica en la huasteca hidalguense / Denise Soares... et al. – Jiutepec, Morelos: IMTA, 2006. 164 pp.

## Anexo 1.1. Estación Huejutla, 13011

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1971-2000

ESTADO DE: HIDALGO

ESTACION: 00013011 HUEJUTLA, HUEJUTLA

LATITUD: 21°08'24" N

LONGITUD: 98°25'08" W.

ALTURA: 200.0 MSNM

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>TEMPERATURA MAXIMA</b>													
NORMAL	23.8	23.8	28.6	31.6	34.2	34.6	33.4	33.4	32.1	30.1	27.1	24.6	29.9
MAXIMA MENSUAL	26.4	29.5	33.8	36.7	37.9	36.8	36.3	36.6	34.7	32.5	31	29.4	
AÑO DE MAXIMA	1989	1986	1991	1991	1991	1998	1980	1982	1982	1985	1988	1994	
MAXIMA DIARIA	38	38	41	47	46	48	42	39	40	38	38	33	
FECHA MAXIMA DIARIA	22/1999	19/1986	27/1984	28/1991	08/1984	07/1995	07/1998	07/1982	12/1982	08/1982	05/1988	01/1987	
AÑOS CON DATOS	23	22	21	22	21	20	21	22	23	22	24	23	
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>													
NORMAL	18.1	19.6	22.3	25.3	27.7	28.4	27.5	27.4	26.5	24.5	21.7	19.2	24
AÑOS CON DATOS	23	22	21	22	21	20	21	22	23	22	24	23	
<b>TEMPERATURA MINIMA</b>													
NORMAL	12.4	13.3	15.9	18.9	21.2	22.3	21.7	21.4	21	18.8	16.3	13.8	18.1
MINIMA MENSUAL	8.1	8.3	9.4	14.1	15.1	19.3	18.4	18.1	17.7	13.8	11.7	9.6	
AÑO DE MINIMA	1996	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1999	1999	1989	
MINIMA DIARIA	-1	4	2	6	0.5	14	17	12	8	7	6.5	-3	
FECHA MINIMA DIARIA	01/1998	04/1998	26/2000	11/2000	08/2000	01/2000	12/2000	12/1981	02/2000	19/1997	27/1999	14/1997	
AÑOS CON DATOS	23	22	21	22	21	20	21	22	23	22	24	23	
<b>PRECIPITACION</b>													
NORMAL	46.3	46.3	52.1	65.4	98.8	195.1	238.4	156.3	291.5	146.6	66.7	58.4	1461.90
MAXIMA MENSUAL	193	126.1	304.9	189.5	347	559.5	648	440.5	817	421	165.5	209	
AÑO DE MAXIMA	1992	1995	1997	1974	1987	1993	1987	1989	1984	1991	1986	1991	
MAXIMA DIARIA	60	93	218.4	142	168	160	205	154.1	202	208	76	83	
FECHA MAXIMA DIARIA	12/1992	17/1995	31/1997	14/1974	19/1981	30/1991	04/1974	24/1996	04/1984	05/1991	07/1991	23/1991	
AÑOS CON DATOS	28	26	27	27	26	24	24	25	26	26	28	28	
<b>EVAPORACION TOTAL</b>													
NORMAL	55	60.6	86.7	96.5	95.7	114.2	115.3	100.2	88.6	74.8	40.7	35.6	963.9
AÑOS CON DATOS	17	14	18	19	17	12	15	17	13	13	17	15	
<b>NUMERO DE DIAS CON</b>													
LLUVIA	7.2	6.1	5.5	5.3	5.2	8.8	12	9.5	11	7.4	6.6	7.3	91.9
AÑOS CON DATOS	28	26	27	27	26	24	24	25	26	26	28	28	
NIEBLA	1	0.9	1.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0.3	0.6	4.9
AÑOS CON DATOS	28	26	28	28	26	25	24	26	26	26	28	28	
GRANIZO	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
AÑOS CON DATOS	28	26	28	28	26	25	24	26	26	26	28	28	
TORRENTA E.	0.2	0.2	0	0.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.5	0.2	0	0	5.1
AÑOS CON DATOS	28	26	28	28	26	25	24	26	26	26	28	28	



**Anexo 2.** Tipos de suelo

CUENCAS	SUELOS																															
	A	Ao	I	To	Im	B	Be	Bh	H	Hi	Hh	Hc	J	Jc	I	L	Lc	Lv	Lo	Lf	W	We	Wa	R	Rd	Re	Rc	E	V	Vc	Vo	
1ª Cuenca Río San Juan				X					X	X	X				X		X				X							X			X	
2ª Cuenca Río Tecozautla									X	X							X				X							X			X	
3ª Cuenca Río Estorax										X	X				X		X									X	X	X				
4ª Cuenca Río Moctezuma									X		X			X	X		X	X								X	X	X			X	
5ª Cuenca Río Axtla									X						X		X											X			X	
6ª Cuenca Río Tulancingo		X		X			X	X	X	X				X	X		X	X	X			X			X		X	X			X	X
7ª Cuenca Río Amajac							X				X	X			X		X	X							X	X		X			X	
8ª Cuenca Río Calabozo	X						X				X	X					X		X	X					X		X				X	
9ª Cuenca Río Los Hules		X									X	X			X		X		X						X	X	X	X				X
10ª Cuenca Río San Pedro															X													X				X
11ª Cuenca Río Tempoal												X			X												X	X				X

**Anexo 3.1** Salidas de Magicc\_Scengen “temperatura” en el escenario A2MES.

AÑO	Modelos/ salidas (°C)		
	GFDLCM21	MPIECH-5	UKHAMCM3
2010	0.69	0.44	0.56
2011	0.73	0.46	0.60
2012	0.77	0.49	0.63
2013	0.81	0.52	0.66
2014	0.86	0.54	0.70
2015	0.90	0.57	0.73
2016	0.94	0.59	0.77
2017	0.98	0.62	0.80
2018	1.02	0.64	0.83
2019	1.06	0.66	0.86
2020	1.11	0.68	0.89
2021	1.15	0.71	0.93
2022	1.19	0.74	0.97
2023	1.24	0.76	1.00
2024	1.29	0.79	1.04
2025	1.33	0.82	1.08
2026	1.38	0.84	1.11
2027	1.43	0.87	1.15
2028	1.48	0.90	1.19
2029	1.52	0.93	1.23
2030	1.57	0.96	1.27
2031	1.62	0.99	1.31
2032	1.67	1.02	1.34
2033	1.72	1.05	1.38
2034	1.77	1.08	1.43
2035	1.83	1.11	1.47
2036	1.88	1.14	1.51
2037	1.93	1.17	1.55
2038	1.98	1.20	1.59
2039	2.04	1.23	1.63
2040	2.09	1.26	1.68
2041	2.15	1.30	1.72
2042	2.21	1.33	1.77
2043	2.27	1.37	1.82
2044	2.33	1.41	1.87

Continuación...

2045	2.39	1.45	1.92
------	------	------	------

AÑO	Modelos/ salidas (°C)		
	GFDLCM21	MPIECH-5	UKHAMCM3
2046	2.45	1.48	1.97
2047	2.51	1.52	2.02
2048	2.57	1.56	2.07
2049	2.63	1.60	2.12
2050	2.70	1.64	2.17
2051	2.76	1.68	2.22
2052	2.82	1.72	2.27
2053	2.89	1.76	2.33
2054	2.95	1.80	2.38
2055	3.02	1.84	2.43
2056	3.08	1.89	2.48
2057	3.15	1.93	2.54
2058	3.22	1.97	2.59
2059	3.28	2.01	2.65
2060	3.35	2.05	2.70

**Anexo 3.2.** Salidas de Magicc\_Scengen “precipitación” en el escenario A2MES.

AÑO	Modelos/ salidas (%)		
	GFDLCM21	MPIECH-5	UKHADCM3
2010	-2.72	-2.01	-0.60
2011	-2.94	-2.18	-0.68
2012	-3.17	-2.36	-0.77
2013	-3.35	-2.50	-0.81
2014	-3.56	-2.66	-0.88
2015	-3.80	-2.85	-0.98
2016	-4.07	-3.07	-1.10
2017	-4.36	-3.31	-1.24
2018	-4.69	-3.59	-1.42
2019	-5.05	-3.90	-1.63
2020	-5.35	-4.15	-1.77
2021	-5.65	-4.40	-1.92
2022	-5.95	-4.64	-2.06
2023	-6.25	-4.89	-2.20
2024	-6.56	-5.15	-2.35
2025	-6.88	-5.41	-2.50

Continuación...

AÑO	Modelos/ salidas (%)		
	GFDLCM21	MPIECH-5	UKHADCM3
2026	-7.19	-5.67	-2.65
2027	-7.52	-5.94	-2.81
2028	-7.84	-6.20	-2.96
2029	-8.14	-6.48	-3.12
2030	-8.51	-6.76	-3.28
2031	-8.85	-7.03	-3.45
2032	-9.19	-7.32	-3.61
2033	-9.53	-7.60	-3.78
2034	-9.87	-7.88	-3.94
2035	-10.22	-8.17	-4.11
2036	-10.57	-8.46	-4.28
2037	-10.93	-8.75	-4.45
2038	-11.29	-9.05	-4.63
2039	-11.65	-9.35	-4.80
2040	-11.99	-9.63	-4.96
2041	-12.30	-9.88	-5.08
2042	-12.58	-10.09	-5.17
2043	-12.86	-10.31	-5.25
2044	-13.13	-10.51	-5.33
2045	-13.40	-10.72	-5.41
2046	-13.67	-10.92	-5.49
2047	-13.93	-11.12	-5.56
2048	-14.20	-11.32	-5.63
2049	-14.46	-11.52	-5.69
2050	-14.72	-11.71	-5.76
2051	-14.98	-11.91	-5.82
2052	-15.24	-12.10	-5.88
2053	-15.50	-12.29	-5.93
2054	-15.75	-12.47	-5.99
2055	-16.01	-12.66	-6.04
2056	-16.26	-12.85	-6.09
2057	-16.51	-13.03	-6.15
2058	-16.77	-13.22	-6.20
2059	-17.03	-13.41	-6.25
2060	-17.27	-13.58	-6.25

**Anexo 3.3.** Salidas de Magicc\_Scengen “temperatura” en el escenario B2-MES.

AÑO	Modelos/ salidas (%)		
	GFDLCM21	MPIECH-5	UKHADCM
2010	0.67	0.43	0.55
2011	0.71	0.46	0.59
2012	0.75	0.48	0.62
2013	0.79	0.51	0.65
2014	0.83	0.54	0.68
2015	0.87	0.56	0.72
2016	0.91	0.59	0.75
2017	0.95	0.61	0.78
2018	0.99	0.64	0.82
2019	1.03	0.67	0.85
2020	1.07	0.69	0.88
2021	1.11	0.72	0.92
2022	1.15	0.74	0.95
2023	1.19	0.77	0.98
2024	1.23	0.79	1.01
2025	1.27	0.82	1.05
2026	1.31	0.85	1.08
2027	1.35	0.87	1.11
2028	1.40	0.90	1.15
2029	1.44	0.93	1.18
2030	1.48	0.95	1.22
2031	1.52	0.98	1.25
2032	1.56	1.00	1.28
2033	1.60	1.03	1.32
2034	1.65	1.06	1.35
2035	1.69	1.09	1.39
2036	1.73	1.11	1.42
2037	1.77	1.14	1.46
2038	1.82	1.17	1.49
2039	1.86	1.20	1.53
2040	1.90	1.22	1.56
2041	1.95	1.25	1.60
2042	1.99	1.28	1.64
2043	2.03	1.31	1.67
2044	2.08	1.34	1.71



2045	2.12	1.36	1.74
------	------	------	------

Continuación...

AÑO	Modelos/ salidas (%)		
	GFDLCM21	MPIECH-5	UKHADCM
2046	2.16	1.39	1.78
2047	2.21	1.42	1.81
2048	2.25	1.45	1.85
2049	2.30	1.48	1.89
2050	2.34	1.51	1.92
2051	2.38	1.53	1.96
2052	2.43	1.56	2.00
2053	2.47	1.59	2.03
2054	2.51	1.62	2.07
2055	2.56	1.65	2.10
2056	2.60	1.68	2.14
2057	2.64	1.70	2.17
2058	2.69	1.73	2.21
2059	2.73	1.76	2.25
2060	2.78	1.79	2.28

**Anexo 3.4** Salidas de Magicc\_Scengen “temperatura” en el escenario B2-MES.

AÑO	Modelos/ salidas (%)		
	GFDLCM2	MPIECH-5	UKHADCM
2010	-2.47	-1.78	-0.42
2011	-2.60	-1.87	-0.43
2012	-2.73	-1.96	-0.44
2013	-2.86	-2.05	-0.45
2014	-2.99	-2.14	-0.46
2015	-3.11	-2.22	-0.46
2016	-3.23	-2.31	-0.47
2017	-3.36	-2.39	-0.47
2018	-3.48	-2.47	-0.48
2019	-3.60	-2.56	-0.48
2020	-3.73	-2.64	-0.49
2021	-3.86	-2.73	-0.50
2022	-3.99	-2.83	-0.52
2023	-4.13	-2.92	-0.53

2024	-4.28	-3.03	-0.56
2025	-4.42	-3.13	-0.58

Continuación...

AÑO	Modelos/ salidas (%)		
	GFDLCM2	MPIECH-5	UKHADCM
2026	-4.57	-3.23	-0.60
2027	-4.71	-3.34	-0.62
2028	-4.86	-3.45	-0.64
2029	-5.01	-3.55	-0.67
2030	-5.16	-3.66	-0.69
2031	-5.31	-3.77	-0.71
2032	-5.46	-3.87	-0.74
2033	-5.61	-3.98	-0.76
2034	-5.76	-4.09	-0.78
2035	-5.91	-4.20	-0.81
2036	-6.06	-4.31	-0.83
2037	-6.22	-4.42	-0.85
2038	-6.37	-4.53	-0.87
2039	-6.53	-4.64	-0.90
2040	-6.68	-4.75	-0.92
2041	-6.83	-4.85	-0.93
2042	-6.96	-4.94	-0.94
2043	-7.10	-5.03	-0.95
2044	-7.23	-5.12	-0.95
2045	-7.37	-5.21	-0.95
2046	-7.50	-5.30	-0.95
2047	-7.63	-5.39	-0.96
2048	-7.76	-5.48	-0.96
2049	-7.89	-5.56	-0.95
2050	-8.02	-5.65	-0.96
2051	-8.16	-5.74	-0.96
2052	-8.30	-5.84	-0.97
2053	-8.44	-5.94	-0.98
2054	-8.58	-6.04	-0.99
2055	-8.73	-6.14	-1.01
2056	-8.87	-6.23	-1.02
2057	-9.01	-6.33	-1.03
2058	-9.16	-6.43	-1.04
2059	-9.30	-6.53	-1.05
2060	-9.44	-6.63	-1.07

**Anexo 4.1.** Valores del Índice de Lang para la cuenca del río Los Hules.

AÑO	A2			B2		
	GFDLCM2	MPIECH-	UKHADCM	GFDLCM2	MPIECH-	UKHADCM
2010	57.60	58.61	59.17	57.79	58.78	59.30
2011	57.38	58.46	59.02	57.62	58.65	59.20
2012	57.15	58.28	58.90	57.45	58.55	59.12
2013	56.95	58.13	58.80	57.28	58.42	59.04
2014	56.71	57.99	58.67	57.12	58.30	58.96
2015	56.48	57.80	58.54	56.95	58.20	58.87
2016	56.23	57.63	58.37	56.79	58.08	58.79
2017	55.97	57.41	58.22	56.62	57.98	58.72
2018	55.69	57.20	58.04	56.46	57.86	58.62
2019	55.39	56.97	57.85	56.30	57.74	58.55
2020	55.11	56.78	57.69	56.14	57.65	58.47
2021	54.84	56.56	57.51	55.97	57.52	58.37
2022	54.58	56.35	57.34	55.81	57.42	58.29
2023	54.30	56.16	57.19	55.64	57.30	58.21
2024	54.01	55.93	57.01	55.46	57.18	58.13
2025	53.74	55.71	56.83	55.29	57.06	58.02
2026	53.46	55.52	56.68	55.12	56.93	57.94
2027	53.16	55.29	56.49	54.95	56.82	57.86
2028	52.88	55.07	56.32	54.76	56.69	57.76
2029	52.62	54.84	56.14	54.59	56.56	57.67
2030	52.31	54.61	55.95	54.41	56.45	57.57
2031	52.01	54.39	55.77	54.24	56.32	57.49
2032	51.72	54.15	55.61	54.07	56.21	57.40
2033	51.42	53.92	55.42	53.90	56.08	57.30
2034	51.13	53.70	55.22	53.71	55.95	57.22
2035	50.81	53.46	55.04	53.54	55.82	57.11
2036	50.52	53.23	54.85	53.37	55.71	57.03
2037	50.22	53.00	54.67	53.20	55.58	56.93
2038	49.92	52.76	54.48	53.01	55.45	56.85
2039	49.60	52.53	54.30	52.84	55.32	56.75
2040	49.31	52.30	54.10	52.67	55.21	56.67
2041	49.03	52.07	53.95	52.49	55.09	56.57
2042	48.76	51.89	53.80	52.33	54.97	56.48
2043	48.49	51.68	53.65	52.17	54.85	56.41

2044	48.23	51.49	53.50	52.00	54.74	56.32
2045	47.97	51.28	53.35	51.84	54.64	56.26
2046	47.71	51.11	53.20	51.69	54.53	56.17

Continuación...

AÑO	A2			B2		
	GFDLCM2	MPIECH-	UKHADCM	GFDLCM2	MPIECH-	UKHADCM
2047	47.46	50.91	53.06	51.52	54.41	56.10
2048	47.21	50.72	52.92	51.37	54.29	56.01
2049	46.96	50.53	52.78	51.20	54.18	55.93
2050	46.69	50.34	52.64	51.05	54.07	55.86
2051	46.45	50.15	52.51	50.89	53.98	55.77
2052	46.20	49.96	52.38	50.72	53.85	55.68
2053	45.94	49.78	52.23	50.57	53.73	55.61
2054	45.70	49.60	52.10	50.41	53.61	55.52
2055	45.44	49.41	51.97	50.24	53.49	55.45
2056	45.21	49.21	51.85	50.08	53.38	55.36
2057	44.96	49.03	51.70	49.93	53.28	55.29
2058	44.70	48.85	51.57	49.76	53.16	55.20
2059	44.46	48.67	51.43	49.61	53.04	55.11
2060	44.22	48.50	51.33	49.44	52.93	55.03



ANEXO 5.1 Gasto del Río los Hules presentado en los escenarios MPECH-5-B2 y UKHADCM3-A2

AÑO	MPECH-5-	UKHADCM3-A2	AÑO	MPECH-5-B2	UKHADCM3-A2
2010	3662	3662	2036	3500	3501
2011	3593	3637	2037	3500	3499
2012	3586	3629	2038	3495	3492
2013	3587	3632	2039	3492	3486
2014	3583	3629	2040	3484	3476
2015	3580	3626	2041	3484	3475
2016	3573	3618	2042	3481	3472
2017	3574	3616	2043	3477	3469
2018	3571	3610	2044	3471	3463
2019	3568	3602	2045	3471	3464
2020	3562	3593	2046	3467	3460
2021	3562	3592	2047	3465	3458
2022	3558	3586	2048	3457	3452
2023	3555	3581	2049	3458	3453
2024	3547	3572	2050	3455	3451
2025	3547	3570	2051	3452	3449
2026	3543	3564	2052	3444	3443
2027	3539	3559	2053	3444	3444
2028	3531	3549	2054	3440	3442
2029	3532	3547	2055	3437	3440
2030	3528	3541	2056	3430	3435
2031	3524	3535	2057	3430	3437
2032	3516	3525	2058	3427	3435
2033	3516	3523	2059	3422	3432
2034	3512	3518	2060	3415	3429
2035	3508	3512			





# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

Mesa 5. Políticas públicas, instrumentos de planeación y participación, y su articulación institucional.

Extenso ID: 41. Verhonica Zamudio Santos. PROBLEMAS DE LA REGULACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL DEL AGUA DESDE LOS CONSEJOS DE CUENCA

[Regresar al índice](#)

El Colegio de México. Camino al Ajusco No. 20. zamsant@gmail.com

## RESUMEN

La regulación del impacto ambiental que tienen las actividades industriales sobre las cuencas hidrológicas es una tarea incompleta en la experiencia mexicana. A más de dos décadas de haberse innovado el sector hidráulico del país mediante un marco normativo, la conformación de instancias de gestión y de participación de usuarios y de la sociedad organizada, la contaminación de las aguas superficiales por metales pesados permanece latente. El objetivo del trabajo es analizar los problemas de la regulación de la contaminación industrial de las aguas desde el ámbito de Consejos de Cuenca, mediante herramientas del análisis espacial y documental. Se toma el caso de estudio de la cuenca del Santiago-Guadalajara del año 2009 a 2015, en el que se ubica uno de los principales corredores industriales del país y que a la par se han detectado altos niveles de metales pesados en el cauce del río Santiago<sup>1</sup>. El estudio muestra que la delimitación administrativa espacial del Consejo de Cuenca del Río Santiago, la prescindible creación del Grupo Especializado de Trabajo (GET) en saneamiento según la Ley de Aguas Nacionales (LAN), así como la no participación conjunta del Consejo con la Comisión Estatal del Agua (CEA) Jalisco en el monitoreo de calidad del agua son los principales problemas frente a la regulación de la contaminación industrial del agua en el Santiago Guadalajara.

**Palabras clave:** Río Santiago, metales pesados, desarrollo industrial, instancias de participación

## 1. INTRODUCCIÓN

La LAN, expedida en 1992, establece que uno de sus objetivos principales es la preservación de la cantidad y la calidad del agua para el logro del desarrollo integral sustentable de los recursos hidrológicos del país ya sean, superficiales, del subsuelo o de zonas marinas (Art. 1, 2; LAN). A su vez, establece que la cuenca es la unidad territorial básica para la gestión integrada de los recursos hídricos (Art. 7 Bis, LAN). Y que, la gestión de los recursos hídricos por cuenca hidrológica o por región hidrológica será a través de los Consejos de Cuenca (Art. 5, LAN).

En la LAN está plasmado el mandato jurídico de conformación de Consejos de Cuenca en el país. Definidos como órganos colegiados de integración mixta, que serán instancia de coordinación y concertación, apoyo, consulta y asesoría, entre la Comisión, incluyendo el Organismo de Cuenca que corresponda, y las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal o municipal, y los representantes de los usuarios de agua y de las organizaciones de la sociedad, de la respectiva cuenca hidrológica o región hidrológica (Art. 3 XV, LAN). Actualmente, se cuenta con un total de 26 Consejos de Cuenca distribuidos en las 13 regiones hidrológico-administrativas del país (CONAGUA, 2012).

Dentro de los principales objetivos de los Consejos de Cuenca está favorecer al desarrollo sustentable en relación con el agua y su gestión; además de contribuir al saneamiento de las cuencas, subcuencas, microcuencas, acuíferos y cuerpos receptores de aguas residuales para prevenir, detener o corregir su

<sup>1</sup> El presente trabajo forma parte de los avances del proyecto de investigación doctoral de la Mtra. Verhonica Zamudio Santos, del programa de posgrado en Estudios Urbanos y Ambientales de El Colegio de México.

contaminación (Art. 13 Bis 3, LAN). Estas entidades buscan conciliar en distintos grados metas económicas, sociales y ambientales (Jouravlev, 2002).

Cabe destacar que los Consejos de Cuenca, en la experiencia mexicana, no cuentan con capacidad jurídica para regular la contaminación del agua ni por materia orgánica, ni por metales pesados. No obstante, los Consejos de Cuenca representan un componente en el sistema administrativo de la gestión del agua en el país de gran importancia, al ser un punto de encuentro de los actores directos de la cuenca, incluyendo a los gobiernos estatales y municipales, los organismos y empresas de agua potable y saneamiento, las asociaciones de agricultores, los usuarios industriales (Jouravlev, 2002:54) entre otros.

A pesar de que los Consejos de Cuenca no cuentan con alcance jurídico, bien pueden incidir en la gestión de la calidad del agua a través de programas de acción ya que, una de sus funciones es participar en la definición de los objetivos generales y los criterios para la formulación de los programas de gestión del agua de la cuenca (Art. 13 Bis 3, LAN). La peculiaridad de esta participación es la multiplicidad de actores que se organiza en órganos funcionales y auxiliares, como lo son los GET y las comisiones de cuenca, ambos con vocación hacia diversas problemáticas de la gestión del agua, como lo es la contaminación.

Los Consejos de Cuenca presentan dificultades, enmarcadas en el arreglo institucional, para llevar a cabo una gestión eficiente del problema de contaminación del agua, sobre todo de tipo industrial. Ya que, la legislación mexicana establece a la gestión por cuenca basada en Consejos de Cuenca como estrategia esencial para la gestión integrada del agua, pero se está presente ante la limitación espacial administrativa de los Consejos de Cuenca, la poca vinculación de programas de acción entre Consejos de Cuenca, la separación del control de las aguas residuales por municipios y por la CONAGUA, así como la falta de datos confiables sobre contaminación industrial del agua a nivel cuenca.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El análisis se basa en la revisión documental de la legislación mexicana en materia de control, prevención y remediación de la contaminación industrial del agua, que se refleja en presencia de metales pesados. Así como revisión documental en torno al alcance de los Consejos de Cuenca frente a este tipo de contaminación, dada por sus funciones y su inserción en la gestión de los recursos hidrológicos para el desarrollo económico. A su vez, se hace uso de herramientas de análisis espacial para determinar los alcances de los sitios de monitoreo de la calidad del agua en relación con la ubicación de las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, a una distancia de 3 km. Además de la delimitación espacial de las funciones de gestión por Consejo de Cuenca.

Se toma como referencia el caso de estudio del Consejo de Cuenca del Río Santiago ya que, en el territorio de dicho Consejo se encuentra un importante desarrollo industrial a nivel nacional, aunado a la problemática de contaminación por metales pesados en el cauce del río y en los cuerpos de agua del sistema hidrológico correspondiente, especialmente el arroyo El Ahogado. Con base en los datos estadísticos de los parámetros: cadmio (Cd), mercurio (Hg) y zinc (Zn), generados por el Sistema de Calidad del Agua de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco en los trece sitios de monitoreo<sup>2</sup> de la cuenca Santiago Guadalajara, para los años 2009-2015. Así como los datos de volúmenes de descargas residuales de la industria en la cuenca del Santiago Guadalajara, para el mismo periodo, que figuran en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), por el Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico.

## **3. RESULTADOS**

En la cuenca del Santiago Guadalajara se observa un primer inconveniente para resolver la problemática de contaminación del agua por metales pesados a partir de la gestión del Consejo de Cuenca del Río Santiago: su delimitación espacial. Esta cuenca, está ubicada en el territorio administrativo de dos Consejos de Cuenca, el del Río Santiago y el Lerma Chapala. De las 23016 unidades económicas del sector manufacturero (INEGI,

---

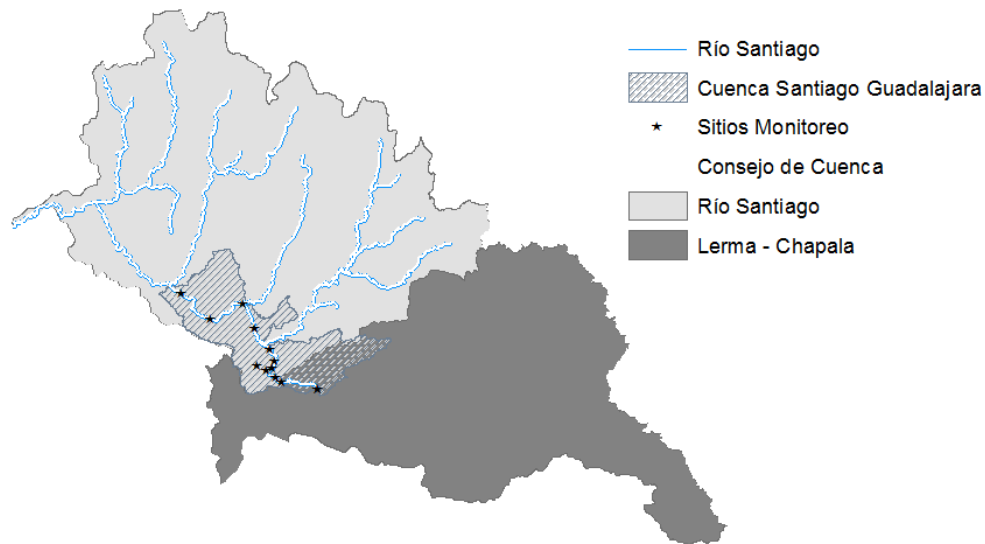
<sup>2</sup> Ver anexo 1

2016) establecidas en la cuenca, 7.3% se concentran en la parte de la cuenca que corresponde a territorio del Consejo de Cuenca Lerma Chapala.

El río Santiago que nace en el Lago de Chapala y discurre a lo largo de 1281 km, hasta su desembocadura en el océano pacífico (IMTA, 2011) está seccionado administrativamente en un largo aproximado de sus primeros 40 kilómetros. La LAN establece la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y demás recursos relacionados con éstos y el ambiente (Art. 3) por lo que, la gestión integrada del río Santiago resulta poco factible, ya que el tramo de su cauce que pasa por los municipios de Ocotlán y Poncitlán del estado de Jalisco no forma parte del ámbito territorial de acción del Consejo de Cuenca del Río Santiago, como se muestra en la figura 1.

Los GET son órganos temporales creados para la implementación de los acuerdos y programas de trabajo de cada Consejo de Cuenca. En el caso del Consejo de Cuenca del Río Santiago, los GET deberán estar constituidos por miembros que pertenezcan al ámbito territorial del Consejo. Es decir que, el problema de contaminación del agua en el río Santiago, puede ser resuelto mediante acuerdos y programas de trabajo de manera parcial (al no poder incidir en el área del nacimiento del río), sin involucrar directamente a miembros del Consejo de Cuenca del Lerma Chapala, aunque se trate de un mismo río. Ya que, no existe un arreglo institucional que facilite el trabajo en conjunto de dos o más Consejos de Cuenca.

Figura 1. Cuenca del Santiago Guadalajara



Elaboración propia. Fuente: Sistema de Calidad del Agua. CEA Jalisco, 2015. CONAGUA-PRONACOSE, 2014.

A su vez, no es obligatoria la existencia de GET para el funcionamiento de los Consejos de Cuenca. Los órganos imprescindibles de los Consejos de Cuenca son la Asamblea General de Usuarios, el Comité Directivo, la Comisión de Operación y Vigilancia y la Gerencia Operativa (Art. 13 Bis 1, LAN). Los GET son específicos para ciertos temas y problemas relacionados a los objetivos de cada Consejo, de ahí su relevancia. En el caso del Consejo de Cuenca del Río Santiago, que tiene el objetivo de sanear las cuencas, subcuencas, barrancas, acuíferos y cuerpos receptores de agua, y prevenir y corregir su contaminación, según sus Reglas Generales de Integración, Organización y Funcionamiento (RGIOF), se torna poco factible su incidencia en la solución del problema de contaminación del agua por metales pesados porque no es imprescindible la creación de un GET en saneamiento para el funcionamiento del Consejo.

En tanto, al carecer de un GET en saneamiento se carece también de un programa de trabajo específico para remediar desde el Consejo de Cuenca la situación de contaminación en el río Santiago. La CEA de Jalisco emprendió el programa de monitoreo de calidad del agua existente en la cuenca del Santiago Guadalajara,

desde 2009 hasta la fecha. Este incluye la medición de ocho parámetros de metales pesados en trece sitios distribuidos en la cuenca (el cauce del río y en dos afluentes: río Zula y arroyo El Ahogado). Cabe destacar que, los datos arrojados son de importancia, ya que a nivel nacional se cuenta con un bajo registro estadístico de metales pesados en ríos y cuerpos de agua, además de la periodicidad mensual con que son tomados los registros.

La información estadística de metales pesados en la cuenca del Santiago Guadalajara es poco utilizada en el seno del Consejo de Cuenca del Río Santiago. No existe algún acuerdo o programa entre el Consejo de Cuenca del Río Santiago y la CEA Jalisco para la utilización de los datos que permita el ir y venir de información en sus reuniones y asambleas con la finalidad de implementar un programa de saneamiento integral en la cuenca, así como evaluar en conjunto, integrando a usuarios, sociedad organizada y academia, la pertinencia de la delimitación y número de los sitios de monitoreo.

Con base en los datos del Sistema de Calidad del Agua de la CEA Jalisco, durante el periodo 2009-2015, los parámetros de metales pesados<sup>3</sup> que rebasan los límites máximos permisibles son cadmio (Cd), mercurio (Hg) y zinc (Zn). Se observa contaminación por Cd en los años 2009 y 2013, por Hg en 2015 y por Zn para todos los años del periodo analizado (Cuadro 1).

Cuadro 1. Presencia de metales pesados en la cuenca del Santiago Guadalajara por arriba del límite máximo permisible por año

Año	Cadmio (Cd) Límite: 0.004 mg/l	Mercurio (Hg) Límite: 0.0005 mg/l	Zinc (Zn) Límite: 0.02 mg/l
2009	<b>0.073</b>	0.0002	<b>0.11</b>
2010	0.001	0.0000	<b>0.13</b>
2011	0.004	0.0004	<b>0.07</b>
2012	0.002	0.0002	<b>0.16</b>
2013	<b>0.006</b>	0.0005	<b>0.10</b>
2014	0.000	0.0004	<b>0.03</b>
2015	0.000	<b>0.0006</b>	<b>0.04</b>

Elaboración propia. Fuente: Sistema de Calidad del Agua. CEA Jalisco, 2015.

Calculo de valores anuales para cada parámetro al promediar los valores mensuales de abril, julio y octubre para cada año del periodo 2009-2015.

Los principales sitios de monitoreo que presentan contaminación por metales pesados son RS07, RS08, AA01 y AA02. Cabe señalar que de estos sitios de monitoreo, el que mayor volumen de descargas de aguas residuales recibe es AA02. Para el año 2015, este sitio recibió 3,005 m<sup>3</sup> al día de aguas residuales, al considerar los permisos de volúmenes de descargas de aguas residuales de la industria manufacturera emitidos de 2009 a 2015. En contraste, los tres sitios de monitoreo restantes no presentan descargas de aguas residuales de la industria manufacturera, con base a los permisos emitidos de 2009 a 2015 por el Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico.

En tanto, al considerar los parámetros de metales pesados por arriba del límite máximo permisible en relación a los sitios de monitoreo de calidad del agua, sobresalen los sitios RS07 y RS08. Resalta a manera que, estos dos sitios de monitoreo no cuentan con establecimientos industriales cercanos, ni permisos de descargas de aguas residuales próximos emitidos durante 2009-2015. La unidad económica industrial más cercana se encuentra a una distancia de 9 km con respecto al sitio RS07, distancia a la que no se ejerce una influencia directa en la calidad del agua de dicho sitio de monitoreo.

A su vez, sobresalen los sitios de monitoreo AA01 y AA02 ya que, rebasan el límite máximo permisible únicamente de Zn durante el periodo 2009-2015, según los datos del Sistema de Calidad del Agua

<sup>3</sup> El total de metales pesados monitoreados son cadmio (Cd), mercurio (Hg), zinc (Zn), arsénico (As), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) y plomo (Pb).



de la CEA Jalisco. En contraste, ambos sitios concentran 42 establecimientos de la mediana y gran industria manufacturera de la cuenca del Santiago Guadalajara, a una distancia de entre 1 y 3 km. De los cuales, destaca la industria de productos metálicos y metales básicos y la industria química. Que son potencialmente generadoras de contaminación por metales pesados.

Aunque parece no existir una relación directa entre la ubicación de la industria manufacturera, la ubicación del vertimiento de aguas residuales de la industria manufacturera y los niveles de contaminación por metales pesados en los sitios de monitoreo, es necesario traer a cuentas que, las muestras son tomadas por cuerpo receptor. Puesto que, la regulación de la contaminación del agua en el país es por cuerpo receptor lo cual, obstaculiza la identificación de la fuente contaminante en el caso de algunos metales pesados, que pueden derivar tanto de fuentes puntuales como de fuentes difusas. Por ejemplo, en el caso de la cuenca del Santiago Guadalajara que presenta altos niveles de Zn por arriba de lo que la legislación marca, no es factible esclarecer en qué medida dicha contaminación es debida a las actividades agrícolas o a las actividades industriales desempeñadas en la zona o a un mal manejo de vertederos y rellenos sanitarios.

#### 4. CONCLUSIONES

Los Consejos de Cuenca tienen funcionando en el país desde hace más de veinte años con el objetivo de colaborar en el saneamiento de cuencas, subcuencas, microcuencas, acuíferos y cuerpos receptores de aguas residuales. Sin embargo, la contaminación de las aguas es una tarea pendiente, sobre todo al tratarse de contaminación por metales pesados. Por lo que, se hace necesario detenernos a analizar a los Consejos de Cuenca que, al momento de ser creados, fueron presentados como órganos innovadores de múltiples alcances debido a su peculiaridad como instancias de coordinación y concertación.

El caso del Consejo de Cuenca del Río Santiago ejemplifica varias limitantes que estos órganos colegiados enfrentan en cuanto a la regulación de la contaminación industrial del agua. El primero de ellos es la delimitación administrativa. En la práctica, un problema tan complejo como lo es la contaminación industrial del agua no se puede limitar a la gestión particular de un Consejo de Cuenca, sobre todo cuando los ríos y cuerpos de agua están compartidos espacialmente. Sin embargo, este tipo de gestión conjunta es poco factible mientras no existan los arreglos institucionales que lo faciliten.

La incidencia del Consejo de Cuenca del Río Santiago en el problema de contaminación industrial del agua será posible mediante la estructuración de programas de trabajo en materia de saneamiento a cargo de GET en saneamiento. Por lo que, mientras que los GET no sean un órgano necesario para el funcionamiento de los Consejos es poco posible llevar a la práctica estrategias de saneamiento. Ya que, por más que el Consejo de Cuenca haya sido creado con el objetivo de sanear la cuenca del río Santiago, al no existir un arreglo institucional adecuado para hacer frente al cumplimiento de dicho objetivo seguirá siendo una tarea pendiente o relegada a la CONAGUA.

No obstante, los Consejos de Cuenca constituyen un espacio de coordinación de acciones y concertación de intereses, un punto de encuentro de usuarios, gobiernos estatales y municipales, secretarías, sociedad organizada, iniciativa privada, academia. Una multiplicidad de actores que no se encuentra en otros órganos encargados de la gestión del agua en México. Por lo que, programas de monitoreo de calidad del agua, como el que se ha implementado en la cuenca del Santiago Guadalajara podrían funcionar mejor con la colaboración y retroalimentación de diversos actores.

#### 5. LITERATURA CITADA

- CEA. (2016). Sistema de calidad del Agua. CEA Jalisco. En <http://info.ceajalisco.gob.mx/sca/> visitado en septiembre de 2016
- CONAGUA. (2012). Estadísticas del Agua en México, edición 2012. Comisión Nacional del Agua. México, D.F.
- \_\_\_\_\_. (1992). Ley de Aguas Nacionales. México

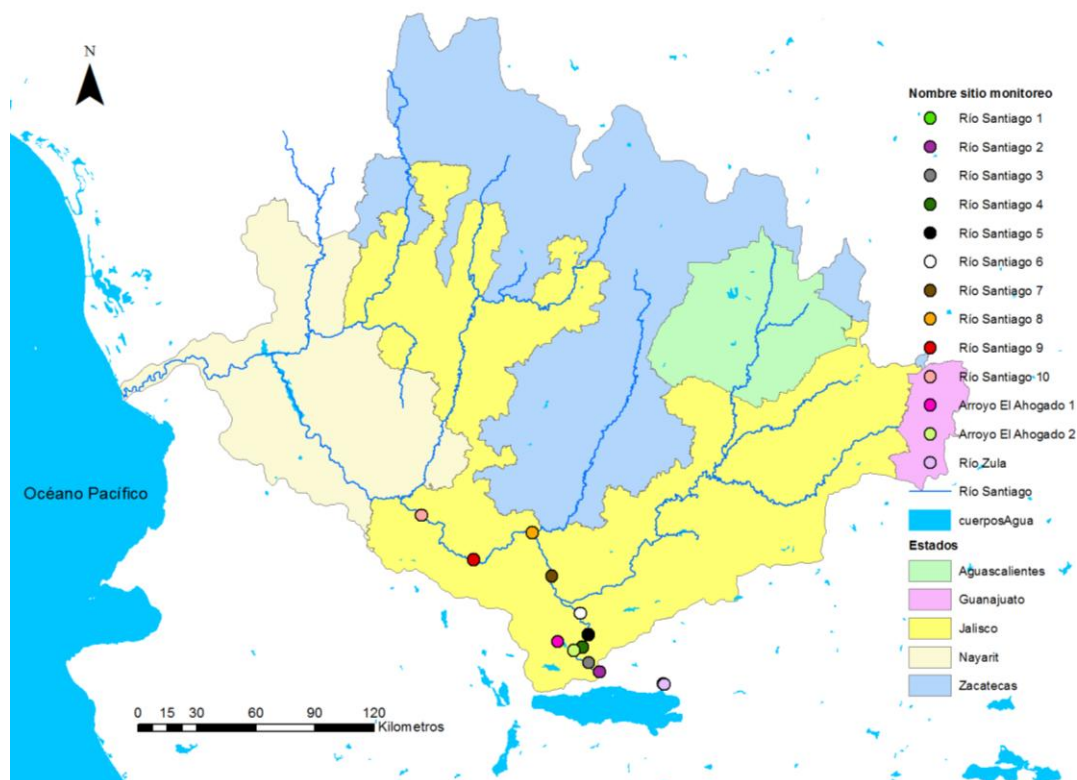


- Consejo de Cuenca del Río Santiago. (2010). Reglas Generales de Integración, Organización y Funcionamiento del Consejo de Cuenca del Río Santiago
- INEGI. (2016). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. en <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/> visitado en septiembre de 2016
- IMTA. (2011). Actualización del estudio de calidad del agua del río Santiago (desde su nacimiento en el lago de Chapala, hasta la presa Santa Rosa). IMTA
- Jouravlev, A.; Chávez, G. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Vol. 1. United Nations Publications



## ANEXOS

### Anexo 1. Mapa de localización de los sitios de muestreo del río Santiago





Extenso ID: 53. Cipriana Hernández Arce a, Sergio Vargas Velázquez b, Gemma Millán Malo c. LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Facultad de Estudios Superiores de Cuautla, UAEM, cipri1970@hotmail.com

<sup>b</sup> Facultad de Estudios Superiores de Cuautla, UAEM, sergio.vargasvme@uaem.edu.mx

<sup>c</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, gmillan@tlaloc.imta.mx

## RESUMEN

La contaminación de los cursos de agua en una cuenca es un fenómeno biofísico resultado de la intervención humana, la cual se ha estudiado bajo diversos enfoques, mayormente de carácter disciplinario desde las ciencias ambientales. Resulta significativa la poca comprensión de éste fenómeno como un problema interdisciplinario, dado que la caracterización de los procesos sociales que se desarrollan en una cuenca a diferentes escalas y que le dan significado y validez al problema, es oscurecida principalmente por la medición e identificación de los contaminantes, su dinámica de dispersión y el daño producido. Las ciencias sociales abordan la contaminación del agua desde enfoques interdisciplinarios, pero para su transformación en un problema socio-ambiental es preciso reinterpretar estos enfoques no solo como una *construcción social*, sino como el acoplamiento de un sistema ambiental y otro social. Este trabajo explica cómo, en la cuenca del río Apatlaco, con sus características físicas y sociales particulares, la contaminación se posiciona como un problema público a través de la interacción entre diversos grupos sociales que habitan en ella, su percepción y los discursos políticos sobre el tema, aunque se observan diferencias en el tiempo y espacio entre quienes implementan las políticas y los actores locales y; afirmamos que el principal vínculo entre el sistema ambiental y el social es eminentemente la construcción política del tema.

El análisis se realiza a dos escalas. En la primera, a nivel de cuenca, se describe el proceso que llevó a las autoridades a formular e implementar una política pública de saneamiento, principalmente orientada a la construcción de plantas de tratamiento bajo una visión de cuenca como *unidad de gestión*; mientras que en la segunda, a nivel local, se identifican diferentes grupos de usuarios del agua, que pese a las demandas y conflictos generados por la contaminación, se han adaptado y asumido los costos de la contaminación. Los resultados señalan el desfase entre los discursos y las acciones emprendidas por las autoridades en la cuenca y las demandas de los distintos grupos de usuarios, teniendo repercusiones en la inoperancia de la política de saneamiento asumida.

**Palabras clave:** cuenca del río Apatlaco, construcción social, contaminación del agua, problema público, problema socio-ambiental

## 1. INTRODUCCIÓN

En México, como en otras partes del mundo, el agua ya no es sólo asunto de hidrólogos o ingenieros. Hace algunos años, por ejemplo, la *cuenca hidrográfica*, se definía como un área de escurrimiento superficial, y la *cuenca hidrológica*, tal como aparece en la Ley de Aguas Nacionales (LAN), se refiere al conjunto de las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Actualmente, la Comisión Nacional del Agua (Conagua) define la cuenca en términos de *unidad de gestión*, en donde se lleva a cabo la representación de los intereses de los

actores sociales y gubernamentales para definir políticas pública y resolver conflictos, por lo que se le reconoce también como una *arena política* en torno al agua (Vargas y Hernández, 2015). Incluso se analiza la “cuenca social”, con base en la caracterización de las relaciones sociales espacializadas en unidades hidrológicas (Paré, 2011, p. 28).

El estudio de la problemática social del agua se ha transformado en las últimas décadas. Si bien no se desestiman los estudios de carácter disciplinarios, tanto de las ciencias ambientales como sociales, hoy en día resulta indispensable desarrollar enfoques interdisciplinarios o multidisciplinarios para llevar a cabo intervenciones en torno a la problemática del agua, sea a través de políticas públicas o desde organizaciones de la sociedad civil, para lo cual no bastan solo los aspectos hidrológicos. Hay que reconocer que debido a la enorme antropización de los recursos hídricos, no se puede hablar de estos espacios fuera del contexto de lo que como sociedad hacemos con ellos, además de la necesidad de incorporar algunos aspectos centrales de la dinámica de los seres humanos, como las relaciones jerárquicas y de poder entre grupos a lo largo de una cuenca, así como la producción y distribución desigual del excedente económico o costos que se producen con el aprovechamiento, o deterioro del agua (Vargas y Hernández, 2015). Sin embargo, la dificultad de acoplar la dinámica de los sistemas ambientales con los sociales, debido a sus distintas escalas temporales y espaciales en las que suceden, ha llevado a que en muchos estudios socio-ambientales se obvie alguna de las partes, dando por hecho o sólo haciendo una caracterización simple de uno de los dos subsistemas (García, E., 2004, pp.70-86). Un aspecto central está en los límites ambientales y sociales y en la dinámica que se establece entre ambos, con procesos de retroalimentación, refuerzo y propiedades emergentes que hace que ambos subsistemas co-evolucionen. En este sentido, afirmamos que los procesos de contaminación implican precisamente la co-evolución de la dinámica hidrológica de los contaminantes junto con la dinámica social, en donde las acciones humanas son en parte, pero no totalmente, lo que las personas piensan que son. Hay que precisar que estos subsistemas tienen límites pero son altamente impredecibles como sistemas autorganizados y con propiedades emergentes (García, 2004, pp. 27-58).

Un abordaje interdisciplinario, como lo es el estudio de la contaminación del agua como un problema socio-ambiental, conlleva a la discusión sobre cuál sería la definición precisa del objeto de investigación, es decir qué tanto se incorpora de una u otra disciplina. Además, junto con la idea de investigación interdisciplinaria aparece el tema de la “complejidad”. Para García (1986), el concepto de complejidad no surge, como lo refieren algunos autores y lo han hecho popular, de la idea de “complicado”, de “desorden” o “incertidumbre”. La complejidad, de acuerdo con García, proviene de la relación del objeto de estudio con las disciplinas a partir de las cuales lo podemos estudiar. Particularmente, esta relación se vuelve compleja, nos dice el mismo autor, por la imposibilidad de considerar aspectos de un fenómeno, proceso o situación a partir de una disciplina específica. Un sistema complejo, entonces, se puede definir como la representación de un recorte de la realidad, conceptualizado como una totalidad organizada (sistema) en la cual los elementos no son separables y, por tanto, no pueden ser estudiados aisladamente (Vargas y Hernández, 2015, pp.7-8).

Esta definición, que forma parte de la perspectiva del trabajo que se presenta, conforma el principio de la investigación interdisciplinaria, como lo plantea García (1986), pero a su vez trae consigo una serie de problemas metodológicos. El primero de ellos es la “escala” en la que existen y se relacionan los distintos procesos que se desean vincular. El problema de la escala en la que cada sistema se desarrolla, implica contar con distintos métodos en una sola metodología, sin olvidar que el sistema complejo de una cuenca, como la que se plantea bajo estudio, es un sistema abierto, lo que implica definirlo a partir de numerosas relaciones, tanto hacia dentro como hacia afuera. Sería imposible describir en su totalidad todas las posibles relaciones entre los diversos elementos de este sistema y su contexto, y aun cuando así fuera, sería tal la cantidad de datos que forzosamente implicaría una reducción de información para su comprensión. Una forma de hacerlo es en términos relativos jerárquicamente, es decir, considerando que el sistema bajo estudio consta de un número relativamente pequeño de subsistemas y que es parte de otro a una escala mayor. El segundo, es la definición de las relaciones entre subsistemas y escalas que resulta lo más complicado, pero cualquier método para describir un sistema como éste debe conducir por lo menos a reconocer las diferencias entre los niveles de

escala. Y el tercero, se refiere a los límites, hasta dónde abarca un sistema complejo, que depende de los objetivos de la investigación (Vargas y Hernández, 2015).

Aunado a lo anterior, en las ciencias sociales sobresale la perspectiva de que los problemas ambientales son “construcciones sociales” ya que somos los seres humanos quienes les damos significado y jugamos un rol activo en sus condiciones de existencia como recurso, además de establecer reglas de control socio-espacial por medio de normas de distinta clase. La contaminación del agua como problema socio-ambiental, por lo tanto, debe ser reconocida como tal a través de un proceso de valoración y construcción social. En la cuenca es común encontrar entre sus habitantes la disociación entre lo que perciben respecto a la situación de su entorno, sus acciones y sus argumentaciones frente a las autoridades, lo cual debe ser analizado sistemáticamente para darles reconocimiento y hacerlos participar en la elaboración de soluciones. Hay situaciones en las que existe un gran deterioro o contaminación del agua sin que haya respuesta social mediante una demanda o la confrontación de intereses, y como resultado quedan al final de la lista de problemas por atender de las entidades gubernamentales. En otros casos, son los actores gubernamentales quienes no son capaces de observar las relaciones sociales, o bien las conciben como subordinadas a las variables hidrológicas, lo que se convierte en un obstáculo epistemológico (Hannigan, 2006; Lezama, 2004; Hajer, 1995).

De esta manera, se presenta el estudio de un problema socio-ambiental de contaminación del agua en una cuenca con la intención de demostrar que lo que es importante estudiar no es la sociedad ni el ambiente, sino el sistema formado por la sociedad y su medio ambiente, el cual siempre depende de formas históricas concretas, de tecnología, desigualdad social y sistema de necesidades (García, 2004, pp.101-102). Por ello, la sociedad moderna siempre está condicionada por los límites de la naturaleza para suministrar recursos y absorber residuos (Vargas y Hernández, 2015).

La cuenca del río Apatlaco se define hidrológicamente como una microcuenca. Su delimitación comprende la superficie que abarcan las corrientes que se vierten al río principal, pero este es tributario de uno más grande. Esta cuenca es una de las más importantes del estado de Morelos y se considera la más contaminada, principalmente por su fuerte dinámica poblacional, así como por desarrollarse dentro de ella las principales actividades económicas del estado.

Del año 2004 al 2012 en México, en medio de su transición a un nuevo modelo de gestión del agua, se consideró el saneamiento como uno de los temas prioritarios en la planeación hídrica, destacando el diseño e implementación de políticas específicas en este rubro y la inversión de una gran cantidad de recursos destinados a alcanzar las metas planeadas (Rodríguez-Rodríguez, 2014). Particularmente, la cuenca del río Apatlaco en el sexenio 2006-2012 fue catalogada como emblemática por la Conagua en el tema de contaminación del agua. Las características particulares en que esta política de saneamiento se desarrolló y llevó a cabo, brindan elementos que pueden ayudar a analizar el proceso de construcción social y política del tema de contaminación del agua.

Por otro lado, se constata que existieron dos hechos que marcaron la aparición de la contaminación del agua como problema público. El primero fue el movimiento surgido en 1991 por parte de campesinos ante la prohibición de regar hortalizas con agua residual; medida tomada por el gobierno federal ante la presencia de cólera en el país. El segundo, fue la conformación, por parte de las autoridades del agua en Morelos, de la Comisión de Cuenca del Río Apatlaco (CCRA) en 2008, y la implementación del Plan Estratégico para el Rescate de la Cuenca del Río Apatlaco (PERCRA) para dar seguimiento a los proyectos e infraestructura de saneamiento en la cuenca.

Teniendo como pregunta rectora ¿Cómo se construye social y políticamente el problema de contaminación del agua como asunto público en la cuenca del río Apatlaco? Se realizó un análisis para entender cómo se constituyó la contaminación del agua en la cuenca del río Apatlaco como un problema público con base en una perspectiva teórica-metodológica de aproximación a la complejidad a fin de comprender las relaciones que se gestan entre los actores involucrados en la toma de decisiones en dos escalas espaciales que conforman la cuenca, la regional donde participan actores gubernamentales y la local donde participan los usuarios del agua.



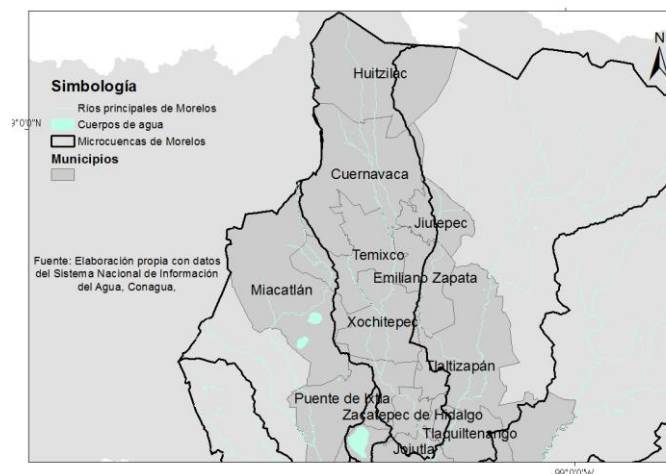
Se asume como hipótesis que el tema de la contaminación del agua de la cuenca del río Apatlaco está constituido a partir de un proceso de construcción público entre actores de una escala regional, que no concuerdan con la escala local, así como la organización e interacción de los actores involucrados en el problema de contaminación del agua y la implementación de la política de saneamiento de la cuenca del río Apatlaco se da de forma desfasada entre el plano local y regional, y define límites para la acción pública.

El trabajo se basa en dos premisas. La primera postula que “un problema puede tener una existencia física, pero si no es socialmente percibido y asumido como tal, sigue siendo socialmente irrelevante” (Lezama, 2004). Y la segunda que “el estudio de un ecosistema natural que ha sufrido la acción del hombre” es un sistema complejo (García R. , 2006).

## ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Apatlaco se ubica al noroeste del Estado de Morelos; cubre un área de 746 kilómetros cuadrados, de los cuales alrededor de 656 se encuentran en territorio morelense. El cauce principal tiene una longitud permanente de 63 kilómetros hasta su confluencia con el río Yautepec y una pendiente de entre 5 y 15 por ciento. Perteneció a la Región Hidrológica del Río Balsas número 18, Subregión Alto Balsas (Conagua-IMTA, 2008). Al igual que todo el Estado de Morelos, dispone de un clima cálido durante casi todo el año con una precipitación promedio anual de alrededor de 900 milímetros. Tiene una extensión territorial de 647 kilómetros cuadrados, que representa 13 por ciento de la superficie del estado y una población dentro de su territorio de 884,229 habitantes<sup>4</sup>, prácticamente la mitad de la población que habita en el estado (figura 1). Territorialmente abarca una porción de 13 municipios, pero poblacionalmente sólo 10 de ellos tienen una actividad importante dentro de la cuenca (IMTA-Fundación Gonzalo Río Arronte, 2007, p.5).

Figura 1. Cuenca del río Apatlaco y municipios que la componen.



En la cuenca se localizan tres grandes ciudades: Cuernavaca, Jiutepec y Temixco, y los municipios con mayor ritmo de crecimiento en el estado, los cuales forman dos núcleos: Cuernavaca, Jiutepec, Temixco y Emiliano Zapata (la Zona Conurbada de Cuernavaca, ZCC), por un lado, y Jojutla, Zacatepec y Tlaltizapán, por el otro (Conagua-IMTA-Gobierno del Estado de Morelos, 2008). De estos, resalta la ZCC que en conjunto suma una población de 753,732 habitantes, lo que representa 73 por ciento del total de la población que habita en la cuenca, considerando la población total de los municipios que la conforman.

<sup>4</sup> Cifra calculada utilizando la información del Censo de Población y Vivienda 2010, del INEGI, y pasando a nivel localidad las coordenadas geográficas para proyectarlas a un Sistema de Información Geográfico, y posteriormente delimitar sólo las localidades que quedan dentro de la cuenca.



En la cuenca se ubican, de manera parcial, tres módulos del Distrito de Riego 016, Estado de Morelos. Los usuarios de riego de estos módulos se encuentran organizados mediante las asociaciones civiles Unión de Usuarios Cuenca de Las Fuentes, Asociación de Usuarios del Alto Apatlaco y Organización de Usuarios de Riego Agrosiglo XX (Conagua-IMTA-Gobierno del Estado de Morelos, 2008). También en ella se localiza la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC), en el municipio de Jiutepec y el Ingenio Emiliano Zapata (IEZ), en el municipio de Zacatepec.

## 2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para su estudio, la cuenca se define como un sistema socio-hídrico complejo y se consideran tres procesos o dimensiones: lo hidrológico, lo social y lo político, a diferentes escalas. Para entender a qué nivel y quiénes participan en la “definición del problema” de la contaminación del agua como asunto público se realizó un análisis retrospectivo de notas de periódico, estudios de casos y una serie de entrevistas que permitieron profundizar en la información.

Es importante aclarar que las escalas de análisis se definen tanto espacial como temporalmente teniendo como punto de referencia la cuenca hidrológica. En este sentido, se toman en cuenta dos escalas espaciales: la regional, definida mediante los límites territoriales de la cuenca del río Apatlaco, y la local, definida a través de los límites municipales y de las áreas de riego. La escala temporal es importante en tanto que los procesos hidrológicos, sociales y políticos van transformándose en el tiempo. Por ejemplo, mientras el deterioro ambiental puede manifestarse en décadas, algunos procesos sociales pueden gestarse de un año a otro, o bien, los procesos políticos definirse por sexenios. En la escala temporal, el análisis retrospectivo de notas de periódico se acotó a un periodo de análisis de 25 años, que va de 1989 a 2013. Periodo en el que se identificaron diversos eventos sociales y políticos que fueron construyendo el tema de la contaminación del agua como un problema público. De esta forma las categorías y variables de análisis quedan definidas de la siguiente manera:

- La **hidrológica**, donde se describe el proceso de contaminación del recurso a partir de estudios sobre calidad del agua, realizados durante el periodo de análisis y que establecen la carga de contaminantes del agua, principalmente DBO.
- La **social**, que considera como observables el crecimiento poblacional; las inversiones realizadas para solventar la contaminación del agua, así como las pérdidas económicas con relación a problemas de contaminación. Estos dos últimos aspectos se pueden identificar mediante el análisis de notas de periódico. Se caracteriza también a los usuarios del agua considerando aspectos como el lugar donde se localizan dentro de la cuenca, el tipo de usuarios: si son agrícolas, industriales o urbanos, y la forma en que se organizan para el uso del agua y enfrentan problemas, principalmente de contaminación del agua. Para la caracterización de los usuarios del agua en la cuenca se consideraron tres grupos que se ubican en la ZCC utilizando como herramienta de análisis la encuesta.
- La **política**, dimensión que se aborda a través de los procesos de gestión del agua a nivel nacional, estatal, regional (cuenca) y localmente, así como en el juego de actores y la acción colectiva (grupos sociales que se movilizan ante el problema de contaminación del agua). En la gestión del agua se caracterizan los estilos de gobernanza considerando los aspectos conceptuales y analíticos que plantea Hufty (2009). El juego de actores puede medirse en relación al proceso de demandas y acciones (notas de periódico). La acción colectiva se puede caracterizar tipificando los grupos que se movilizan en la cuenca ante la contaminación del agua, este aspecto puede identificarse una parte en el análisis de notas de periódico y otra en el análisis de los estudios de casos.

### Análisis de notas de periódico

El análisis de notas de periódico consistió en la recopilación de notas de un periodo de 25 años (1989-2013). Se consultaron principalmente tres medios de circulación estatal: El Correo del Sur, El Diario de Morelos y La Jornada Morelos, los cuales fueron revisados en el Instituto Estatal de Documentación de Morelos. La

selección de las notas se realizó de acuerdo a los siguientes criterios: que estuvieran dentro del periodo de análisis; que hicieran referencia a lugares dentro de la zona de estudio y que aludieran a algún problema sobre la contaminación del agua. Las notas recopiladas y analizadas fueron 118. Con ellas se elaboró una base de datos en Excel, extrayendo de cada una la siguiente información: fecha, estado, municipio, localidad, título de la nota, resumen y tipo de nota según la siguiente clasificación:

- Denuncias. Notas que expresan demandas o reclamos vinculados a la contaminación del agua de grupos sociales. De estas notas, además se identificó a los grupos sociales que expresan una demanda o reclamo; qué demandaban y a quién demandaban alguna acción o solución.
- Declaraciones. Notas que contienen declaraciones de autoridades de gobierno o funcionarios de instituciones. Por lo general, proclaman alguna acción o compromiso (respuesta a las demandas) en relación a los problemas de contaminación del agua. De estas notas, se identificó a los actores, fueran autoridades gubernamentales o representantes de instituciones, y las acciones comprometidas.
- Notas informativas. Notas que proporcionan datos o información relacionada a algún problema o asunto vinculado al tema de contaminación o alguna falla en la gestión.

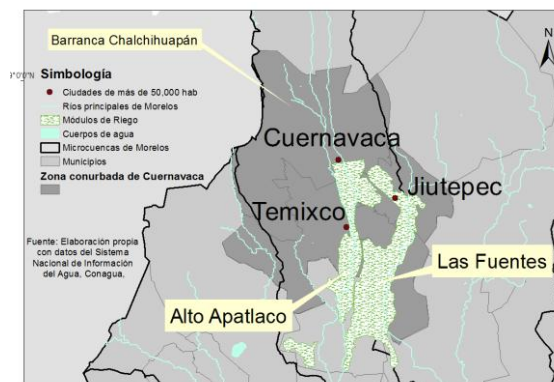
Para el análisis de las notas, se identificó en un primer momento a los actores y se definieron sus demandas y acciones a fin de establecer una tendencia de las denuncias (demandas) y así como de las respuestas institucionales a estas (acciones). En un segundo momento, se elaboró una cronología que permite identificar los factores de interés y las posibles relaciones entre los actores involucrados en la construcción social del problema de contaminación.

## Estudio de casos

La cuenca del río Apatlaco representa una región con dinámicas distintas entre los diferentes usuarios del agua que se asientan en ella. Se distinguen por lo menos tres grupos: los agricultores, los urbanos o colonos de zonas habitacionales y la industria. Para hacer un análisis de estudios de casos, fue necesario realizar un recorte de esta variedad de actores. Por ello, y por la posibilidad de obtener información de manera más accesible, tomando en cuenta los recursos económicos y de tiempo disponibles para la investigación, se eligieron actores de la ZCC para llevar a cabo este análisis (figura 2). Los grupos elegidos fueron:

- Agricultores y líderes del módulo de riego Alto Apatlaco del DR016 Estado de Morelos
- Agricultores y líderes del módulo Las Fuentes del DR016 Estado de Morelos,
- Colonos de la Barranca de Chalchihuapán, ubicada en el municipio de Cuernavaca.

Figura 2. Ubicación de los casos de estudio en la ZCC.



Para realizar el análisis se utilizó como referente metodológico el estudio de caso, partiendo de la idea de que cada grupo analizado es un caso particular que puede describirse para tener un referente de comportamiento. Cada caso se define como un sistema con un funcionamiento particular dentro de la cuenca y con un patrón de conducta específico, pero restringido a ciertos límites (Tarrés, 2013). Dado que los estudios de casos no están

limitados a una orientación de investigación, es decir, pueden emplearse tanto metodologías cuantitativas como cualitativas, en esta investigación se empleó la encuesta para la obtención de información complementándola con información secundaria y, en algunos casos, con entrevistas y recorridos de campo.

Las encuestas a partir de las que se analiza cada estudio de caso, fueron diseñadas y aplicadas entre 2012 y 2014 con diferentes objetivos de investigación; no obstante, tienen un objetivo común: establecer un panorama general de la relación de los habitantes de las zonas de estudio con el agua, su organización y funcionamiento y, en los tres casos, son intencionadas, es decir no obedecen a una muestra representativa estadísticamente.

Las encuestas aplicadas en 2012 a los agricultores del módulo Alto Apatlaco fueron parte del estudio realizado por Wellard (2012); las encuestas aplicadas a los colonos de la Barranca de Chalchihuapán se levantaron entre 2013 y 2014, forman parte de la tesis doctoral de Teresa Rodríguez (2014); y las encuestas aplicadas a los agricultores del módulo Las Fuentes se levantaron en 2014 para este trabajo de investigación y de Chodorowski (2014).

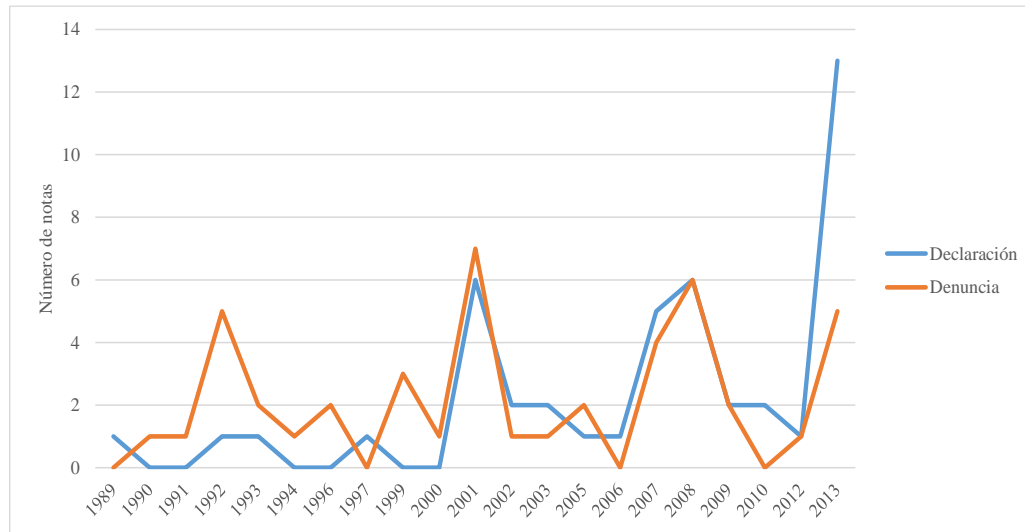
Para analizar las encuestas, se retomaron exclusivamente las variables que, en cada caso, arrojaban elementos de análisis para responder a la pregunta ¿cómo se construye socialmente la contaminación del agua como un problema público? Los resultados se procesaron con el programa SPSS cuidando mantener el foco de atención sobre el problema de investigación. La información obtenida ayudó a determinar los factores que favorecen la opinión de la contaminación del agua como problema, algunas de las variables analizadas, en los módulos fueron: la edad, la ubicación, el tipo de agricultor, de acuerdo al tamaño de sus parcelas; y aspectos relativos a la organización y representatividad; para el caso de la barranca de Chalchihuapán fueron: la edad, la percepción de colonos como usuarios de la barranca, la posesión de tierra, el uso del agua y su organización y participación en el cuidado de ella. Aun cuando las herramientas son diferentes, posibilitaron la descripción de las zonas y permitieron establecer relaciones de asociación entre variables nominales utilizando como prueba estadística la  $\chi^2$  con el fin de profundizar en la opinión de los encuestados. En cada caso la información se categorizó y definió para los fines de la investigación. La profundidad en el análisis fue limitada, por el tiempo, pero se considera que permitió a un cierto nivel lograr concretar los fines que se perseguían en la investigación.

### 3. PRINCIPALES RESULTADOS

Entre los principales resultados se identifican los estudios que diferentes instituciones realizan en el río Apatlaco identificado dos puntos críticos sobre la contaminación del agua, la ZCC y el tramo del río que se ubica en el municipio de Zacatepec donde se localiza el IEZ.

El desfase entre las declaraciones y demandas del proceso público de construcción social de la contaminación del agua en la cuenca del Apatlaco (figura 3). En donde se identifica un interés especial por parte de las autoridades del agua en Morelos a partir del año 2000.

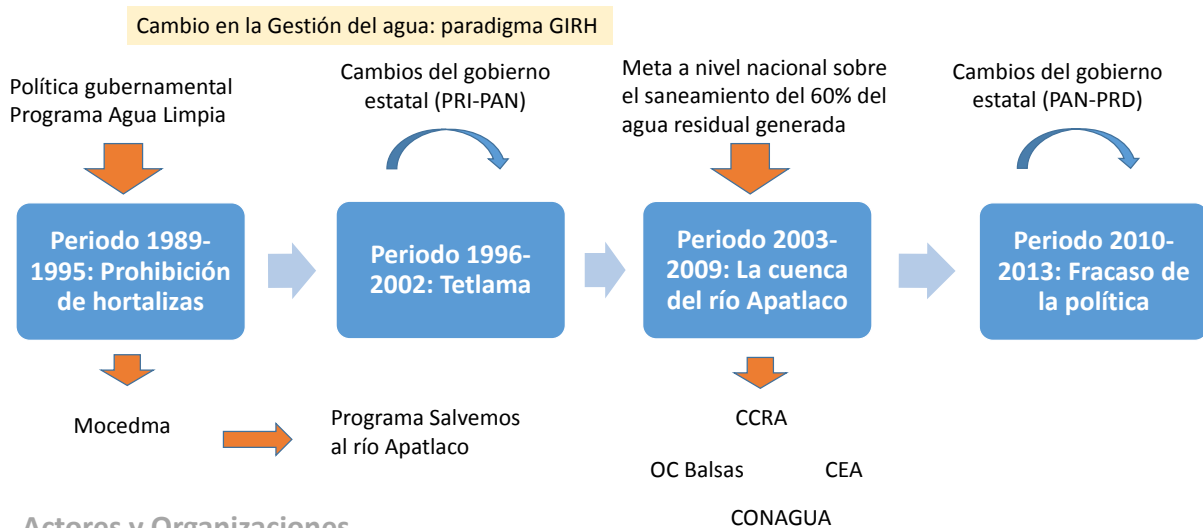
Figura 3. Comparativo entre Declaraciones y Denuncias (Problemas & Acciones)



La tipificación del proceso de construcción social y política a través de cuatro periodos en los que se identifican los procesos emergentes nacionales e internacionales, así como los intereses de los actores gubernamentales y los grupos sociales mediante su acción colectiva para la conformación de la política de saneamiento en la cuenca (Figura 4).

Figura 4. Tipificación del proceso de construcción pública de la contaminación del agua en el Apatlaco

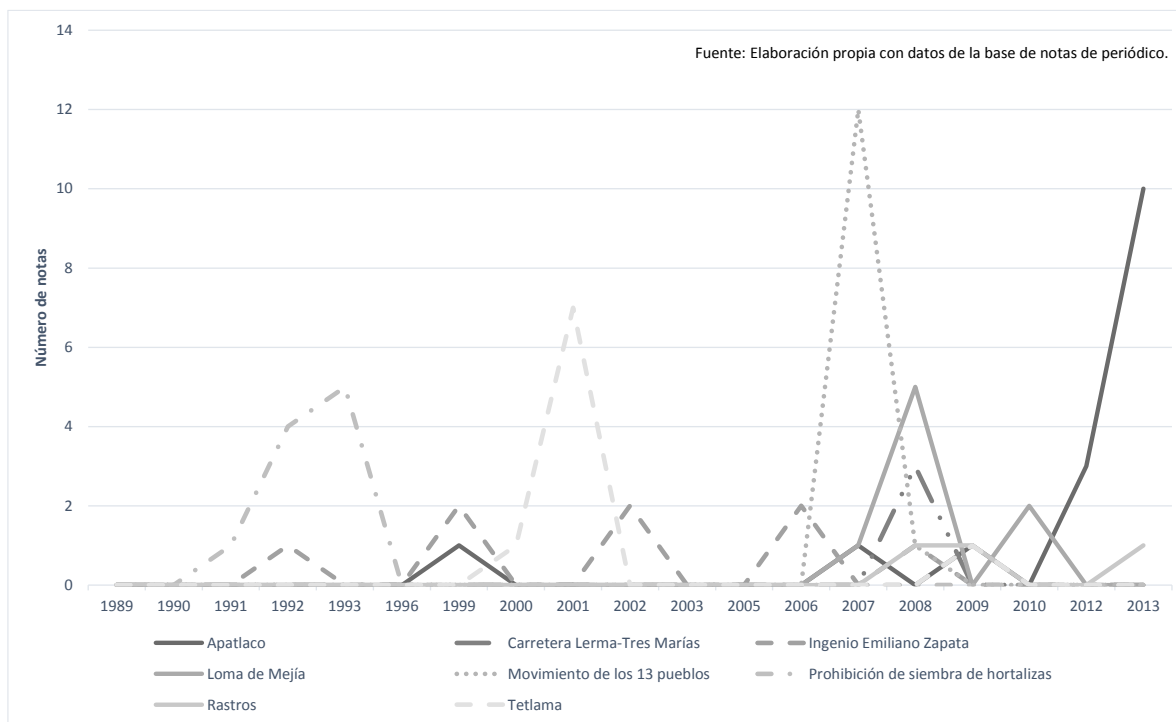
#### Procesos emergentes



#### Actores y Organizaciones

Finalmente, los temas alrededor del problema de contaminación del agua que generan la arena pública en que el tema y los actores están involucrados (figura 5).

Figura 5. Temas que disputan atención alrededor de la contaminación del agua en el Apatlaco



#### 4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Con esta investigación se ha querido analizar un fenómeno de contaminación del agua considerado como referencia la cuenca del río Apatlaco en donde se gesta como problema público, asumiendo primordialmente su construcción socio-política, y considerando que las relaciones entre los actores gubernamentales y de uso del agua a diferentes escalas conforman relaciones de poder que lo colocan como un tema de interés y relevancia para el estado, pero sin un referente preciso de disputa, conflicto o negociación entre estos actores. Observándose una serie de desfases discursivos en tiempo y espacio entre la acción pública de actores a nivel regional y local, y conformándose una Gobernanza del agua tradicional unilateral de arriba hacia abajo en la implementación de la política de saneamiento de la cuenca.

A lo largo de la investigación y a través de las herramientas elegidas para su análisis se pudieron contestar las preguntas de investigación planteadas. Los actores gubernamentales que colocan el tema públicamente tienen una visión regional del problema (teniendo como punto de interés el río Apatlaco) en donde se define el problema de contaminación como relevante, y que no consideran para su definición la acción colectiva alrededor del tema. Estos actores pertenecen a instituciones federales y estatales principalmente como son el Organismo de Cuenca Balsas y la Comisión Estatal del Agua de Morelos, aliados con otras instituciones de investigación como el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) que dan certeza científica y validez al problema de contaminación del agua que se presenta en el estado de Morelos.

Adicionalmente, como resultado del análisis realizado del proceso de construcción pública del problema de contaminación del agua, se observan procesos que se gestan en un orden más allá de la cuenca, como los cambios políticos y de enfoque entorno a la gestión de los problemas en el sector agua a nivel nacional. Cambios que obedecen a propuestas de política establecidas a nivel internacional, y que se perciben como procesos que en el momento histórico en que se implementa la política de saneamiento en la cuenca facilitan su adopción y surgimiento.

La contaminación del agua como problema socio-ambiental en la cuenca no necesariamente surge, a partir del riesgo que socialmente se percibe a través de un proceso de demanda, sino también es el discurso público el





que establece el riesgo y define como se construyen socialmente los problemas ambientales, tal como lo plantea Hajer (1995), pero a diferencia de su propuesta, la contaminación del agua en la cuenca se define como problema público no únicamente como una forma de regular los conflictos emergentes sobre el ambiente en ese momento, sino también por su oportunidad y conveniencia política, que quizás sin ella no se habría generado. Así como resultado de procesos emergentes como las políticas y recomendaciones internacionales sobre el combate al cólera por ejemplo, que influyen sobre políticas gubernamentales adoptadas y avaladas a nivel nacional y estatal. Lo que habla de una dependencia política y un proceso de gobernanza tradicional.

A diferencia de la escala regional, la escala local se caracteriza por una acción colectiva dispersa en tiempo y espacio por diversas luchas que se vinculan al tema de la contaminación del agua, pero que guardan en esencia intereses diferentes. La primera de ellas es la que deviene en 1991, por ejidatarios de zonas agrícolas localizadas en la cuenca, que se movilizan en protesta de la prohibición del riego de hortalizas con aguas negras producto de la aparición de una política gubernamental para la prevención de enfermedades gastrointestinales y la emergencia de una normatividad al respecto. Esta lucha, que principalmente los agricultores sostienen desde 1991 con la aparición del cólera, sitúa la contaminación del agua como tema de interés para el gobierno. A pesar de esto, se puede identificar también que los líderes que convocan a esta lucha en los años noventa, actualmente continúan trabajando en pro de la cuenca y participan en la CCRA, pero sus intereses alrededor de la contaminación del agua han cambiado, buscando peldaños políticos y tomando como discurso ahora la preservación de los manantiales del estado, los cuales son reservas de agua para los ejidatarios que trabajan en zonas de riego dentro de la cuenca. Pese a ello, sigue siendo el único movimiento encontrado, que plantea como objeto de la movilización el problema de contaminación de agua en Morelos.

Posteriormente, surgen algunas otras luchas entre los años 2006 y 2009 destacándose: la movilización de los 13 pueblos y la caravana contra la construcción del relleno sanitario Loma de Mejía, que se detonan, una por la construcción de zonas habitacionales, y la otra, por la preservación del lugar elegido para la construcción de un relleno sanitario. Estas luchas, si bien tienen una construcción social pública importante en el estado, no logran la atención necesaria para evitar que el tema de contaminación del agua en el Apatlaco surja en este mismo periodo como el problema a atender en la cuenca por parte de los actores gubernamentales y autoridades del agua.

También se ha podido advertir, haciendo un análisis más reciente sobre grupos diferenciados de usuarios del agua en la cuenca, ubicados en la ZCC, que a una escala local las necesidades de estos usuarios, con forme a sus propias percepciones, no corresponden a una preocupación preponderante sobre problemas que tengan que ver con la contaminación del agua, incluso su organización entorno al agua no tiene elementos que les permitan tener un control sobre este fenómeno, el cual sigue estando ligado a un orden estatal o municipal.

La relación más importante que se identifica y puede ligar a estos dos ámbitos de acción, el regional y el local, se encuentra en la participación de los actores en la CCRA, creada en 2008 como parte de la política de saneamiento en la cuenca. Sin embargo, el trabajo de la CCRA se ha centrado principalmente en enfocar los recursos que se obtienen desde la federación para realizar obras técnicas encaminadas al saneamiento, dejando de lado la discusión en relación a otros temas que pueden estar girando alrededor de los problemas del agua en la cuenca y su desarrollo. Además, se identifica una falta de representatividad de aquellos actores que fungen como portavoces, por lo menos en los casos analizados, y que participan en la CCRA.

Finalmente, el marco teórico-metodológico elegido para el análisis ha podido servir, a través de conceptualizar a la cuenca como un sistema complejo, como un medio para integrar herramientas diversas en un mismo análisis, y poder establecer una base para posteriormente incrementar el conocimiento de la cuenca en algunos otros ámbitos de acción y dimensiones que no pudieron incorporarse en esta investigación. Esta forma de abordar el problema de investigación ayudó a identificar dos visiones diferenciadas de la cuenca. Los actores gubernamentales y autoridades del agua visualizan el problema de contaminación, centrando su atención en el río Apatlaco; mientras que los usuarios del agua tienen una visión centrada principalmente en su propio ámbito de acción (su territorio) y en su actividad o como usuarios del agua. En ambos casos, se pierde el



reconocimiento de la existencia del otro ámbito, es decir la parte gubernamental no percibe la parte local, y la local no percibe la existencia de un ámbito regional del que forman parte. Lo cual limita las alternativas de solución de los problemas, generando una toma de decisiones sin acuerdos o negociaciones entre los diferentes actores. El abordaje metodológico permitió considerar como parte de la cuenca el sistema social que forma parte de ella, sin limitarse a una visión meramente hidrológica.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Facultad de Estudios Superiores de Cuautla de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos para llevar a cabo esta tesis doctoral como parte de su Programa de Estudios de Posgrado, incorporado a Conacyt.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Chodorowski, M., 2014. *¿Cómo se gestiona en un contexto urbano, el sistema de riego del módulo Las Fuentes perteneciente al Distrito de Riego 016 en el estado de Morelos en México?* Francia: ISTOM.
- Conagua-IMTA-Gobierno del Estado de Morelos, 2008. *Programa Hídrico Estatal de Morelos Visión 2030*. Jiutepec, Morelos.
- García, E., 2004. *Medio ambiente y sociedad. La civilización industrial y los límites del planeta*. Madrid: Alianza Universidad.
- García, R., 1986. Conceptos básicos para el estudio de sistemas complejos. En E. Leff, *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo* (págs. 381-409). México: Siglo XXI editores.
- García, R., 2006. *Sistemas Complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.
- Hajer, M., 1995. *The politics of environmental discourse: ecological modernization and the policy*. Clarendon Press: Oxford.
- Hannigan, J. A., 2006. *Environmental Sociology. A social constructionist perspective*. London and New York: Routledge.
- Lezama, J. L., 2004. *La construcción social y política del medio ambiente*. México: El Colegio de México.
- Paré, L. y Geréz P., 2011. *Al filo del agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Rodríguez-Rodríguez, E., 2014. *Saneamiento en la cuenca Atoyac-Zahualpan: el papel de la participación social*. México: El Colegio de Tlaxcala.
- Rodríguez, T., 2014. *La Barranca de Chalchihupán como recurso de uso común*. Cuernavaca, Morelos: Tesis para obtener el grado de doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, UAEM.
- Tarrés, M. L., 2013. *Observar, Escuchar y Comprender sobre la tradición cualitativa en la investigación social*. México: El Colegio de México.
- Vargas, S. y Hernández, C., 2015. Deterioro de la calidad del agua en la cuenca del río Apatlaco. *Inventio*, 15-22.
- Wellard, J., 2012. *Los cambios en la agricultura al enfrentar el desarrollo urbano: Un estudio de caso de riego periurbano el Alto Apatlaco en Cuernavaca Morelos, capital del estado*. Francia: Memoria de fin de estudios, Escuela Superior de Agronomía y Desarrollo Internacional, STOM.



Extenso ID: 55. Cesar Casiano<sup>a</sup>, Arturo Gleason<sup>b</sup>, Vera Vikolainen<sup>c</sup>, Hans Bressers<sup>d</sup>. EVALUACIÓN DE LA GOBERNANZA: ANÁLISIS DE LA POLÍTICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ALTO BALSAS PUEBLA Y TLAXCALA

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> CSTM-University of Twente, Enschede, Países Bajos, email: c.a.casianoflores@utwente.nl

<sup>b</sup> CUAAD-Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México, email: arturo.gleason@cuaad.udg.mx

<sup>c</sup> CSTM-University of Twente, Enschede, Países Bajos, email: v.vikolainen@utwente.nl

<sup>d</sup> CSTM-University of Twente, Enschede, Países Bajos, email: j.t.a.bressers@utwente.nl

## RESUMEN

Actualmente el tratamiento de aguas residuales es uno de los mayores retos hídricos al que nos estamos enfrentando a nivel mundial, y sus impactos son claros en temas de salud y ambientales. Por ello en México, en la última década, el gobierno federal ha realizado importantes inversiones para la construcción de plantas de tratamiento. Sin embargo, ninguna de las últimas dos administraciones han logrado sus objetivos respecto al porcentaje de aguas residuales tratadas. Las herramientas metodológicas más importantes para identificar problemas en la implementación de la política hídrica, son aquellas que evalúan la gobernanza del agua. Este estudio realiza una evaluación del contexto de la gobernanza de las sub-cuencas del Alto Atoyac Puebla y Tlaxcala, donde se encuentra el tercer río más contaminado del país. Considerando la importancia del contexto de la gobernanza en la implementación de la política hídrica, planteamos la siguiente pregunta: *¿En qué grado la estructura de gobernanza apoya la implementación de la política de las plantas de tratamiento de agua residual en el Alto Atoyac Puebla y Tlaxcala?* Para realizar la evaluación de la gobernanza utilizamos la Herramienta de Evaluación de la Gobernanza (GAT) por sus siglas en inglés; y nos enfocamos en el análisis de dos cualidades de la gobernanza: *alcance* y *coherencia*. A través de dicho análisis concluimos, que el grado de apoyo de la estructura de la gobernanza es más restrictiva en la implementación de la política de tratamiento de agua residual en Puebla, que en Tlaxcala. Esto se debe principalmente a las reformas realizadas por el gobierno estatal, las cuales le permiten contar con una mayor cantidad de recursos para la implementación de su política de regionalización de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

**Palabras clave:** gobernanza, evaluación, Atoyac, Puebla, Tlaxcala

## 1. INTRODUCCIÓN

En la última década tanto las evaluaciones de gobernanza como el tratamiento de aguas residuales, han llamado la atención tanto de la academia como de Organismos Internacionales. La contaminación por aguas residuales es uno de los mayores retos que la humanidad enfrenta en términos ambientales y de salud. Por ejemplo, más de la mitad de las camas de hospital están ocupadas por personas que sufren enfermedades relacionadas con agua contaminada (Corcoran et al., 2010). En promedio los países desarrollados tratan el 70% de sus aguas residuales, mientras los países de ingreso medio alto tratan el 38% y los de ingreso medio bajo el 28% (Allaoui, Schmitz, Campbell, & de la Porte, 2015).

Las evaluaciones de gobernanza, permiten la identificación de retos que existen en la implementación de la política y el hacer recomendaciones. Además muestran la relación entre los programas, la regulación y el alcance de las metas (Jacobson, Meyer, Oia, Reddy, & Tropp, 2013). Naciones Unidas recientemente compiló 13 herramientas de evaluación de la gobernanza del agua (Jacobson et al., 2013) y la OCDE destacó 25 (OECD, 2015), entre ellas la metodología empleada en este estudio denominada Herramienta de Evaluación de la Gobernanza (GAT) por sus siglas en inglés.

La implementación y la regulación del tratamiento de aguas residuales depende en gran parte del contexto en el que se lleva a cabo la política (Allaoui et al., 2015). Por lo que resulta relevante encontrar respuestas específicas en lugar de panaceas universales (Ingram, 2008, p. 17; Ostrom, Janssen, & Anderies, 2007, p. 15176; Pahl-Wostl, 2015, p. 11). Hasta el día de hoy se han planteado dos panaceas principalmente. La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) y la descentralización de la gestión del agua. De acuerdo a declaraciones del mismo gobierno mexicano, México está completamente comprometido a un manejo integral del agua en conformidad con la GIRH, y con la gestión a nivel local que es la más cercana a los usuarios y la que permite su participación total (CONAGUA, 2012a, p. 5). Con base en esto, México oficialmente usa un enfoque de cuenca y existen 13 regiones hidrológico-administrativas que abarcan todo el país (CONAGUA, 2012a).

Durante el 2012 a través de una evaluación de gobernanza, por parte de la OCDE, se encontró que la política de implementación del agua es desigual y que los consejos de Cuenca no están operando completamente. Además de que el marco regulatorio para agua potable y saneamiento está fragmentado (OECD, 2013, p. 32). Ninguna de las dos administraciones federales anteriores han logrado alcanzar sus objetivos planteados respecto al tratamiento de aguas residuales (Casiano & Bressers, 2015). De hecho los problemas relacionados al saneamiento están entre los principales retos de la política hídrica en México y sólo algunos estudios se han llevado a cabo tanto en nuestro país como en América Latina (Pacheco-Vega, 2009, 2015). Asimismo, existe una falta de atención a la implementación de acuerdos o regulaciones desde una perspectiva de gobernanza (Van Rijswijk, Edelenbos, Hellegers, Kok, & Kuks, 2014, p. 736). En este sentido, nuestro estudio busca contribuir al análisis de la política de tratamiento de aguas residuales desde una perspectiva de gobernanza y nuestra pregunta de investigación es la siguiente: *¿En qué grado la estructura de gobernanza apoya la implementación de la política de las plantas de tratamiento de agua residual en el Alto Atoyac Puebla y Tlaxcala?*

Para contestar esta pregunta se ha escogido una perspectiva institucional y de interacciones sociales, pues dichas interacciones proveen oportunidades y restricciones para la implementación de la gestión del agua (Vinke-de Kruijf, Kuks, & Augustijn, 2015). El GAT está basado en la Teoría de la Interacción Contextual (CIT) por sus siglas en inglés (Cheryl Boer de, 2012; Cheryl Boer de & Bressers, 2011; H. Bressers & Kuks, 2004) y divide las cualidades de la gobernanza en elementos descriptivos y semi-normativos. Los elementos descriptivos están conformados por 5 dimensiones: multi-nivel, multi-actor, multi-perspectivas, multi-instrumentos y multi-recursos. Por su parte las cualidades son: *alcance*, *coherencia*, *flexibilidad* e *intensidad*. Este estudio se centrará y evaluará las cualidades de *alcance* y *coherencia*.

Investigaciones previas han encontrado que la estructura de la gobernanza puede ser de apoyo para el desarrollo sustentable, cuando se combina un *alcance* alto, es decir hay una estructura completa que considera todos los usos y usuarios relevantes; y cuando se tiene una *coherencia* alta, es decir las diferentes dimensiones de la gobernanza se fortalecen entre ellas (H. Bressers & Kuks, 2004; Vinke-de Kruijf et al., 2015). Cuando la estructura de la gobernanza es incompleta o incoherente los recursos hídricos o sus servicios son susceptibles a deteriorarse (Cheryl Boer de & Bressers, 2011).

El surgimiento de estructuras de gobernanza que combinan un *alcance* alto y una *coherencia* alta no se dan de manera directa. Generalmente, las estructuras de la gobernanza del agua tienen la tendencia de incluir gradualmente más usos y más usuarios (Vinke-de Kruijf et al., 2015). Conforme se hacen más completas, también se vuelven más complejas debido a la inclusión de más niveles, más actores, más percepciones y más instrumentos. Una vez que dichas estructuras se vuelven más complejas, necesitan incrementar su *coherencia*. Una gobernanza *coherente* involucra a actores que están consientes de su mutua dependencia e interacción entre ellos, de la existencia de múltiples definiciones del problema; las cuales son tomadas en cuenta en las estrategias y los objetivos, y de que las responsabilidades están acompañadas por los recursos para la implementación. (Vinke-de Kruijf et al., 2015). El incrementar la *coherencia* requiere importantes esfuerzos. Como resultado muchas estructuras de gobernanza combinan un *alcance* alto con una *coherencia* baja y por lo tanto el régimen está fragmentado en lugar de integrado (H. Bressers & Kuks, 2004).

## 2. METODOLOGÍA

Implementación en este estudio se entiende como todas aquellas actividades que están conectadas con el uso de un conjunto de medidas políticas preconcebidas (Dinica & Bressers, 2003, p. 2) y las fases de implementación que nuestro estudio considera son: planeación, construcción /rehabilitación, operación y monitoreo de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

El término, gobernanza es un concepto importante y comúnmente usado en el sector hídrico. Sin embargo, no hay mucha consistencia en su significado (Casiano & Boer de, 2015). Por ello y por la importancia del concepto muchos académicos han tratado en las últimas décadas de categorizar dichos significados (H. Bressers & Kuks, 2003; Klijn, 2008; Rhodes, 1996; Van Kersbergen & Van Waarden, 2004). El enfoque de gobernanza empleado en esta investigación se encuentra basado en literatura de política pública y



administración pública. La gobernanza es entendida como más allá del gobierno, como el contexto de toma de decisión e implementación. Es un intento por organizar la multiplicidad de aspectos mencionados en ambas literaturas dentro de un marco conciso (H. Bressers & Kuks, 2013). Se entiende como gobernanza del agua al contexto que guía y organiza las acciones e interacciones de los actores involucrados en la gestión de los recursos hídricos (H. Bressers & Kuks, 2013).

El GAT es el marco empleado para la evaluación y puede ser utilizado cuando hay un sistema multi-nivel con interdependencia entre los actores. Es decir, que los diferentes niveles actúan como unidades semiautónomas y el poder está diversificado (Gage & Mandell, 1990). La interdependencia debe estar al menos clasificada como una “coordinación iniciada legislativamente” (Gage & Mandell, 1990), incluso cuando no esté completamente implementada. Cambios a favor de este tipo de escenarios en las legislaciones nacionales se han llevado a cabo en diversas partes del mundo, como una respuesta para lograr una gestión más integrada de los recursos hídricos (Cheryl Boer de, Vinke-de Kruijf, Özerol, & Bressers, 2013), esto permite que el GAT pueda analizar y comparar un importante número de casos a nivel mundial. Este marco ha mostrado ya importantes fortalezas en el análisis de la implementación de proyectos de agua, en los Países Bajos y Canadá (Cheryl Boer de, 2012), en los países ubicados en el noroeste de Europa (N. Bressers, 2015), en México (Casiano & Boer de, 2015; Casiano Flores, Vikolainen, & Bressers, 2016), Rumania (Vinke-de Kruijf et al., 2015), entre otros. El análisis depende en gran medida de las opiniones y experiencias de los grupos de interés así como debates y opiniones de expertos.

La Tabla 1, muestra la matriz compuesta por las dimensiones de la gobernanza y las cualidades de *alcance* y *coherencia* de la misma. Las preguntas de la matriz fueron la base de las preguntas realizadas a los diferentes actores entrevistados.



Tabla 1. Matriz compuesta por las dimensiones de la gobernanza y las cualidades de la misma

Dimensiones	Pregunta descriptiva	Alcance alto	Coherencia alta
Niveles y Escalas	¿Cuáles son los niveles que están involucrados?	Todos los niveles relevantes están involucrados	Los niveles colaboran y confían unos a otros
Actores y Redes	¿Qué actores están incluidos y cuáles excluidos?	Todos los actores relevantes están incluidos	Es posible incluir nuevos actores, el liderazgo cambia por cuestiones pragmáticas y se crea capital social
Percepción de problemas y objetivos de las metas	¿Qué percepciones del problema y ambiciones son tomados en cuenta?	La mayoría de las percepciones del problema están incluidas	La diferentes metas se apoyan y no se contradice unas a otras
Estrategias e instrumentos	¿Qué tipos de instrumentos están incluidos y excluidos en la estrategia ?	Diferentes tipos de instrumentos relevantes están incluidos	Las estrategias abarcan e incluyen un sistema basado en incentivos
Responsabilidades y recursos	¿Cómo están las responsabilidades asignadas y que recursos tienen disponibles?	Los recursos están incluidos en la asignación de responsabilidades	Las responsabilidades asignadas mejoran la colaboración entre instituciones

Fuente: (Vinke-de Kruijf et al., 2015), adaptada por los autores

Se realizaron 23 entrevistas semi-estructuradas para Puebla de 2013 a 2015 y 21 para el caso de Tlaxcala entre 2014 y 2015. Para Puebla se entrevistaron a los tres órdenes de gobierno, incluyendo personal de CONAGUA y PROFEPA, de la Comisión Estatal de Agua, de la Secretaría de Infraestructura y Finanzas, además de funcionarios de los sistemas operadores de agua de Puebla, Cholula, Huejotzingo y San Martín Texmelucan. Por parte de la sociedad civil se entrevistó al Consejo Coordinador Empresarial, la organización no gubernamental Los Atoyaqueros y activistas a favor del agua. Para el caso de Tlaxcala en lo referente al gobierno se entrevistó a personal de la CONAGUA, a nivel estatal de la Coordinación General de Ecología, Secretaría de Desarrollo Urbano, al CSITARET y a la Comisión Estatal del Agua. A nivel municipal fueron los sistemas operadores de Tlaxcala, Chiautempan, Huamantla, Apizaco y Tlaxco. Mientras que de la sociedad civil fue a la Industria Textil, organizaciones no-gubernamentales PRONATURA y Fray Julián Garcés e investigadores del Colegio de Tlaxcala.

La evaluación de cada celda, es la conclusión generada de las opiniones vertidas por los diferentes actores y puede ser evaluada de la siguiente manera: Alto, moderado-alto, moderado, moderado-bajo y bajo. Cuando la mayoría de las dimensiones son evaluadas de moderada a alta, se considera que la cualidad apoya la implementación, de lo contrario la restringe.



### 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA CONFORMADA POR PUEBLA Y TLAXCALA

Las sub-cuencas del Alto Balsas Puebla y Tlaxcala son parte de la cuenca del Balsas. Esta cuenca se encuentra integrada por 420 municipios que corresponden a los estados de Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla y Tlaxcala. La cuenca hidrológica está dividida en 12 regiones de planeación (CONAGUA, 2012b, p. 18). Las ciudades más pobladas en la cuenca son: Tlaxcala, Puebla, Cuernavaca y Uruapan; y a la vez son las que más contaminan y generan la mayor demanda de agua (Becerril, 2011, p. 2).

El río Atoyac es el tercero más contaminado de México (Lira, 2016). La contaminación del río Atoyac afecta a 2,300,000 habitantes (Ochoa & Arroyo, 2016). La Cuenca conformada por Puebla y Tlaxcala tiene el índice más alto de mortalidad en niños de hasta cinco años, causada por problemas gastrointestinales y enfermedades transmitidas por mosquitos, debido a la contaminación del río Atoyac (Gómez, 2016). De acuerdo con estudios realizados por organizaciones no gubernamentales, los costos generados por las enfermedades ascienden a los 50 mil millones de pesos, mientras que la inversión requerida es de 6 mil millones de pesos y el saneamiento del río tomaría entre 10 y 15 años (Espinoza & Arroyo, 2016).

En 2010, la sub-cuenca perteneciente al estado de Puebla, contaba con 22 plantas de tratamiento de aguas residuales, ubicadas en 7 municipios (CEAS & SSAOT, 2012). La política de tratamiento de agua residual prácticamente inició en 1997, cuando se creó la primera Clasificación del Río y se esperaba que para 2015, el río pudiera proteger la vida acuática. Sin embargo, el río Atoyac pasó de ser el séptimo río más contaminado de México al tercer lugar (Castillo, 2013). CONAGUA en 2013, presentó el Proyecto Integral para la Gestión del Agua en la sub-cuenca del río Atoyac, el cual incluía 17 municipios (OEM, 2013). A partir de 2002, la compañía TAPSA estuvo a cargo de 4 mega-plantas tratadoras, pero en 2012 se le cancelaron los contratos argumentando falta de cumplimiento en la calidad de las descargas. Actualmente, ninguno de los tres niveles de gobierno ni actores de la sociedad civil perciben mejora en la calidad del agua del río (Casiano & Bressers, 2015). El estudio más reciente señala que los sólidos suspendidos son un 240% más altos que los parámetros establecidos en la Declaratoria de Clasificación del Río Atoyac de 2011 y la Demanda Bioquímica de Oxígeno es 1010% (Dale la cara al Atoyac, 2016). Además sólo entre el 1% y el 2% de las industrias y municipios cumple con la calidad de descarga que dicta la norma (Camacho Fierro, 2016).

En el caso de Tlaxcala, la sub-cuenca comprende al 79.5% de los habitantes del estado de Tlaxcala (Rodríguez, 2010, p. 20) y el río Zahuapan es el más importante ya que cruza 25 municipios de los 60 que conforman el estado (UNAM Red del Agua & Instituto de Ingeniería, 2012, pp. 18-19). El interés por el tratamiento de las aguas residuales empezó en 1985, cuando el gobierno creó el organismo público descentralizado “Empresa para el Control de la Contaminación del Agua del Estado de Tlaxcala” (ECCAET) que colaboró con la “Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Tlaxcala” (CAPAET) para la gestión del agua en el estado. La Ley Estatal del Agua de 2009 creó la Comisión Estatal de Agua de Tlaxcala (CEAT), la cual es considerada el máximo órgano para el tema del agua en el estado y cuenta con una capacidad técnica,

normativa y de consulta. Asimismo, se creó el Centro de Servicios Integrales para el Tratamiento de Aguas Residuales del Estado de Tlaxcala (CSITARET). El CSITARET está encargado de la política de tratamiento de agua y opera algunas de las plantas de tratamiento y monitorea la calidad de las descargas.

La Clasificación del Río en 2011 a nivel federal, reformas al Código Penal del Estado en 2013, al Código Financiero para el Estado de Tlaxcala y sus Municipios en 2009; además de modificaciones al Fondo de Aportaciones para el Fortalecimiento de los Municipios (FORTAMUN), permitieron mejorar la capacidad legal y económica del gobierno estatal para la implementación de la política de plantas de tratamiento de aguas residuales. Desde 2011, se inició una política de regionalización donde el gobierno estatal opera directamente 9 plantas y monitorea 60 (Casiano Flores et al., 2016).

#### 4. RESULTADOS

Tabla 2 y Tabla 3, presentan los resultados de la evaluación para Puebla y Tlaxcala.

Tabla 2. Resultados de la evaluación de las cualidades de *alcance* y *coherencia* para la sub-cuenca del Alto Atoyac Puebla

<b>Dimensiones de la gobernanza</b>	<b>Alcance</b>	<b>Coherencia</b>
<b>Niveles y escalas</b>	BAJO. El nivel municipal está excluido de las fases de planeación y construcción/rehabilitación. Asimismo, el gobierno estatal solo apoya algunos proyectos	BAJO. Aun cuando legalmente todos los niveles están involucrados. La principal relación se da entre el gobierno estatal y el federal. Hay poca confianza en la relación institucional tanto vertical como horizontal
<b>Actores y redes</b>	BAJO. La política está limitada a los actores gubernamentales principalmente. Los actores sociales como el sector industrial, organizaciones no gubernamentales no participan en ninguna etapa de la implementación, mientras que los municipios no participan en la fase de planeación y construcción/rehabilitación	BAJO. No es posible incluir nuevos actores, la implementación se lleva a cabo a través de los programas de CONAGUA y la Comisión de Regulación y Seguimiento (CORESE) establece que la participación es entre los niveles de gobierno, el liderazgo es esperado por parte de CONAGUA y no hay una creación de capital social que responda pragmáticamente
<b>Percepción de problemas y objetivos de las metas</b>	BAJO. Las perspectivas de los actores sociales no son consideradas en ninguna fase de la implementación y al municipio no se le considera en las primeras etapas de la implementación.	BAJO. En la práctica hay una clara diferencia entre los objetivos y acciones de los actores gubernamentales con respecto a los sociales
<b>Estrategias e instrumentos</b>	MODERADO-BAJO Existen importantes instrumentos como las normas y la Clasificación del Río. Sin embargo, no existe ley secundaria de la	MODERADO. La manera en la que los instrumentos son creados es para generar sinergias e incentivos, sin embargo los actores reportan que se prestan a



	Ley de Aguas, no se ha creado ninguna Comisión de Cuenca o reformas estatales que permitan una mejor implementación de la política	manipulaciones políticas
<b>Responsabilidades y recursos</b>	BAJO. Las responsabilidades están claramente asignadas; sin embargo, no se cuentan con los recursos principalmente a nivel municipal para la implementación de la política	MODERADO BAJO. Las responsabilidades asignadas a cada actor busca que se genere una colaboración. Sin embargo, se encuentra fragmentada dicha cooperación y depende en gran medida del interés de los actores por colaborar y sus recursos
<b>Resultado:</b>	<b>Restringido</b>	<b>Restringido</b>

Tabla 2. Resultados de la evaluación de las cualidades de *alcance* y *coherencia* para la sub-cuenca del Alto Atoyac Tlaxcala (Atoyac-Zahuapan)

<b>Dimensiones de la gobernanza</b>	<b>Alcance</b>	<b>Coherencia</b>
<b>Niveles y escalas</b>	MODERADO. Con la política de regionalización el alcance se ha estado reduciendo para fortalecer la participación del gobierno estatal con el federal en las 4 fases de la implementación	MODERADO. Se ha desarrollado un cierto nivel de confianza, principalmente entre el nivel estatal y federal, los cuales colaboran en la política de regionalización
<b>Actores y redes</b>	BAJO. Los actores sociales; es decir organizaciones no gubernamentales y el sector industrial no participan en ninguna fase de la implementación	BAJO. No es posible incluir nuevos actores, la política se lleva a cabo a través de los programas de CONAGUA y se trata la problemática de la implementación en la CORESE. Asimismo, no es posible crear un capital social por cuestiones pragmáticas
<b>Percepción de problemas y objetivos de las metas</b>	BAJO. Las perspectivas consideradas son principalmente las del gobierno federal y el estatal	MODERADO. Al reducirse el alcance de los actores gubernamentales, las perspectivas se limitan al gobierno estatal y federal, las cuales encuentran una alineación más clara y se apoyan. Sin embargo, las perspectivas de los actores sociales no son consideradas
<b>Estrategias</b>	MODERADO. Aun cuando no hay una ley secundaria de la Ley de	MODERADO. Las estrategias se encuentran basadas en incentivos.



<b>instrumentos</b>	Aguas, La Clasificación del Río, y las reformas del gobierno estatal han generado nuevos instrumentos que permiten fortalecer la estrategia de regionalización	Algunas de las plantas que opera el estado ya están recibiendo incentivos por parte de la federación. Sin embargo, todavía faltan plantas que operen y fortalecer el monitoreo, pues el laboratorio no cuenta con su certificación
<b>Responsabilidades y recursos</b>	MODERADO-BAJO. Las responsabilidades están claramente asignadas, los recursos para la política de regionalización se vieron incrementados con las reformas estatales al FORTAMUN y al Código Financiero Estatal. Sin embargo, todavía se requieren una importante cantidad de recursos para monitoreo y en el caso de los municipios para todas las áreas de la implementación	MODERADO. Las responsabilidades de los actores estatales con los federales se ha dado bajo un marco de cooperación. Sin embargo, la participación correspondiente con los sistemas operadores es un poco más complicada principalmente por la falta de recursos a nivel municipal
<b>Resultado:</b>	<b>Moderado-Restictivo</b>	<b>Moderado</b>

## 5. CONCLUSIONES

La pregunta que planteamos en esta investigación fue la siguiente: *¿En qué grado la estructura de gobernanza apoya la implementación de la política de las plantas de tratamiento de agua residual en el Alto Atoyac Puebla y Tlaxcala?* Para contestarla realizamos una evaluación de dos de las cualidades de la gobernanza llamadas *alcance* y *coherencia* y su relación con las 5 dimensiones. En lo que se refiere al contexto más amplio, se encontró que las reformas impulsadas a nivel federal han buscado establecer una gestión descentralizada y un manejo de cuenca, acorde con el GIRH. Sin embargo, las reformas encaminadas en este sentido no han tenido el impacto esperado en la implementación de la política de tratamiento de agua residual. Por un lado la implementación no se lleva a través de una gestión de cuencas sino de los programas de CONAGUA y las discusiones se dan en la CORESE, la cual está cerrada a actores gubernamentales. En este sentido es de destacar el caso de Tlaxcala en donde se creó una Comisión de Cuenca en noviembre de 2009, pero nunca operó (Casiano Flores et al., 2016).

En lo que corresponde al *alcance*, podemos observar que tanto en Puebla como en Tlaxcala es restrictivo aunque en diferentes escalas. En el caso de la dimensión de “Niveles y escalas”, la investigación señala una participación más limitada por parte del gobierno estatal de Puebla, quien no aporta los recursos para que pueda emplearse el presupuesto federal de manera completa. Asimismo, en ambos casos existe una limitada participación del gobierno municipal lo que llevó a experiencias en las que las plantas de tratamiento que eran construidas no correspondían a las necesidades de los municipios, haciendo difícil la operación por parte de los mismos. En la dimensión de “Actores y redes”, en ambos casos se evaluó el *alcance* como bajo debido a que la implementación toma principalmente en cuenta únicamente las perspectivas del gobierno estatal y federal, la perspectiva municipal es más limitada y la perspectiva social no es tomada en cuenta durante la implementación. En “Estrategias e instrumentos”, existe una importante diferencia entre ambos casos. Aun cuando a nivel nacional se carece de una ley secundaria y en la cuenca existe la Clasificación del Río, las reformas del gobierno estatal en Tlaxcala han permitido un incremento importante en esta cualidad y el efecto



se percibe en la dimensión de “Responsabilidades y recursos”. Las reformas estatales han permitido un incremento a los recursos para operación y monitoreo de las plantas que están a cargo del gobierno estatal. Así como el fortalecimiento de la capacidad por parte del gobierno estatal hacia las plantas operadas por los municipios.

En lo referente a la *coherencia*, podemos desprender de la evaluación, que existe una diferencia relevante entre Puebla y Tlaxcala. Tlaxcala es el contexto que provee un mayor apoyo al ser evaluado como moderado, mientras que en Puebla es restrictivo. En lo que corresponde a “Niveles y escalas”, por ley todos los niveles gubernamentales están involucrados; sin embargo, de acuerdo a las entrevistas en el caso de Puebla no existe confianza tanto en las relaciones verticales como horizontales entre las secretarías. Por su parte en lo referente a “Actores y redes”, ambos casos presentan la cualidad como baja, ya que no es posible incluir nuevos actores pues las acciones implementadas se dan a través de los programas de CONAGUA, en donde de acuerdo a las Reglas de Operación la participación esta limitada a actores gubernamentales dentro de la CORESE. Esto demerita la posibilidad de crear capital social. Asimismo, las “percepciones” consideradas son las gubernamentales, y los actores sociales enfatizan que ellos cuentan con una visión más integral y a un mayor plazo que el gobierno. En lo concerniente a “Estrategias e instrumentos”, en ambos casos los instrumentos buscan crear sinergias e incentivos. Sin embargo, para el caso de Puebla los actores entrevistados señalaron que existe una manipulación política en la implementación por parte del gobierno estatal. Mientras que en el caso de Tlaxcala se señaló que ya se perciben algunos beneficios por parte del gobierno federal hacia el estatal, debido a que se están cumpliendo los requisitos de descargas para acceder a dichos recursos. Aunque todavía quedan muchos retos por delante, principalmente en relación con el monitoreo y la implementación por parte de los municipios. Respecto a “Responsabilidades y recursos”, el sistema tiene como objetivo generar colaboración. Sin embargo, dicha colaboración depende en gran medida en el interés y los recursos que los actores desean invertir. En este caso, en Puebla hay una mayor limitación mientras que en Tlaxcala la política de regionalización ha fortalecido la colaboración entre los actores federales y estatales.

Por ello, podemos concluir que la estructura de gobernanza en Puebla tiene un grado de apoyo restrictivo hacia la implementación de la política de tratamiento de agua residual en las cualidades de *alcance* y *coherencia*. Mientras que en Tlaxcala el grado de apoyo es mayor, debido a que el gobierno estatal ha tenido un papel más activo, independientemente de la existencia u operación de una Comisión de Cuenca bajo la perspectiva de GIRH. En este sentido, tal parece que como resultado de las reformas, el nivel estatal está dejando de ser un enlace débil en el sistema intergubernamental y empieza a ser capaz de tomar mayores responsabilidades en temas ambientales (Lester & Goggin, 1998, pp. 3-4). En términos de las cualidades podemos decir que las acciones emprendidas por el gobierno estatal han permitido un incremento en la *coherencia*, disminuyendo la fragmentación y fortaleciéndose a través de una reducción en el *alcance*.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud a CONACYT y a CONCYTEP por financiar esta investigación a través de una beca para estudios de doctorado.

## 7. LITERATURA CITADA

- Allaoui, M., Schmitz, T., Campbell, D., & de la Porte, A. C. (2015). *Good Practices for Regulating Wastewater Treatment: Legislation, Policies and Standards*. Retrieved from <http://unep.org/gpa/documents/publications/GoodPracticesforRegulatingWastewater.pdf>
- Becerril, J. (2011). Consejo de Cuenca del Río Balsas como caso de éxito en la Gestión del Agua. Retrieved from <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Elcaso.pdf>





- Boer de, C. (2012). *Contextual water management: A study of governance and implementation processes in local stream restoration projects*. Universiteit Twente, Enschede.
- Boer de, C., & Bressers, H. (2011). *Complex and dynamic implementation processes: the renaturalization of the Dutch Regge River*. Enschede: Universiteit Twente in collaboration with the Dutch Water Governance Centre.
- Boer de, C., Vinke-de Kruijf, J., Özerol, G., & Bressers, H. (2013). *Water Governance, Policy and Knowledge Transfer: International Studies on Contextual Water Management*. Oxon: Earthscan Studies in Water Resource Management from Routledge.
- Bressers, H., & Kuks, S. (2003). What does Governance mean? In H. Bressers & W. A. Rosenbaum (Eds.), *Achieving sustainable development, The challenge of governance across social scales* (pp. 65-88). Londen: Praeger.
- Bressers, H., & Kuks, S. (2004). *Integrated Governance and Water Basin Management: Conditions for regime change towards sustainability* (H. Bressers & S. Kuks Eds.). London: Kluwer Academic Publishers.
- Bressers, H., & Kuks, S. (2013). Water governance regimes: Dimensions and dynamics. *International Journal of Water Governance*, 1(1), 133–156. doi:10.7564/12-IJWG1
- Bressers, N. (2015). *Benefit of Governance in DROught AdaPtation – Practice measures example book Benefit of Governance in DROught AdaPtation*. Retrieved from <http://www.dropproject.eu/wp-content/uploads/2013/04/DROP-Handbook-version-final-English.pdf>
- Camacho Fierro, A. (2016, May 5). Incumplen municipios con tratamiento de aguas residuales para el Atoyac. *CONTRAPARTE*. Retrieved from <http://contraparte.mx/2016/05/04/103353/incumplen-municipios-con-tratamiento-de-aguas-residuales-para-el-atoyac/> - .Vz3gVFe4JsM
- Casiano, C., & Boer de, C. (2015). Symbolic implementation: Governance assessment of the water treatment plant policy in the Puebla's Alto Atoyac sub-basin. *International Journal of Water Governance*, 3(4), 1-24. doi:10.7564/14-IJWG79
- Casiano, C., & Bressers, H. (2015). Changes without changes: The Alto Atoyac sub-basin case in Mexico. *Water Governance*, 1, 12–16.
- Casiano Flores, C., Vikolainen, V., & Bressers, H. (2016). Water Governance Decentralisation and River Basin Management Reforms in Hierarchical Systems: Do They Work for Water Treatment Policy in Mexico's Tlaxcala Atoyac Sub-Basin? *Water*, 8(5), 210.
- Castillo, G. (2013, April 17). Río Atoyac, el 3º más contaminado del país: Conagua. *Poblanerías*. Retrieved from [http://atl.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6245:rio-atoyac-el-3o-mas-contaminado-del-pais-conagua&catid=114:contaminacion-del-agua&Itemid=576](http://atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=6245:rio-atoyac-el-3o-mas-contaminado-del-pais-conagua&catid=114:contaminacion-del-agua&Itemid=576)
- CEAS, & SSAOT. (2012). *Planeación hídrica estatal por cuenca con visión 2030*. Retrieved from <http://ceaspue.puebla.gob.mx/phocadownload/programacion/hidrica-estatal-por-cuenca-con-vision-2030/planeacinhidricaestatalporcuencaconvision2030.pdf>
- CONAGUA. (2012a). *The CONAGUA in action*. Retrieved from [http://www.conagua.gob.mx/english07/publications/Conagua in action carta cor.pdf](http://www.conagua.gob.mx/english07/publications/Conagua%20in%20action%20carta%20cor.pdf)
- CONAGUA. (2012b). *Programa Hídrico Regional Vision 2030, Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas*. Retrieved from Mexico D.F.:
- Corcoran, E., Nellesmann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D., & Savelli, H. (2010). *Sick Water? The central role of waste- water management in sustainable development*. Retrieved from [http://www.unep.org/pdf/SickWater\\_screen.pdf](http://www.unep.org/pdf/SickWater_screen.pdf)
- Dale la cara al Atoyac. (2016). *Agenda del Agua: Estado de Puebla*. Retrieved from [http://www.dalelacara.org/rio\\_de\\_conocimiento](http://www.dalelacara.org/rio_de_conocimiento)
- Dinica, V., & Bressers, H. (2003). *Rio 3 World Climate and Energy event*. Paper presented at the The Implementation of Renewable Energy Policies: Theoretical Consideration and Experiences from Spain, The Netherlands and The United Kingdom, Rio de Janeiro.





- Espinoza, M., & Arroyo, M. Á. (2016, April 20, 2016). Saneamiento del río Atoyac puede tardar hasta 15 años. *Poblanerías*. Retrieved from <http://www.poblanerias.com/2016/04/saneamiento-del-rio-atoyac-puede-tardar-hasta-15-anos/>
- Gage, R., & Mandell, M. (1990). *Strategies for managing intergovernmental policies and networks* (R. Gage & M. Mandell Eds.). New York: Praeger.
- Gómez, D. (2016, March 4, 2016). Contaminación del Río Atoyac mata a menores por males gastrointestinales: Mastretta. *Contrastes de Puebla*. Retrieved from <http://contrastesdepuebla.com/notasrelevantes/contaminacion-del-rio-atoyac-mata-menores-por-males-gastrointestinales-mastretta/>
- Ingram, H. (2008). *Beyond Universal Remedies for Good Water Governance: A Political and Contextual Approach*. [https://www.researchgate.net/publication/238658113\\_Beyond\\_Universal\\_Remedies\\_for\\_Good\\_Water\\_Governance\\_A\\_Political\\_and\\_Contextual\\_Approach](https://www.researchgate.net/publication/238658113_Beyond_Universal_Remedies_for_Good_Water_Governance_A_Political_and_Contextual_Approach)
- Jacobson, M., Meyer, F., Oia, I., Reddy, P., & Tropp, H. k. (2013). *User's Guide on Assessing Water Governance*. Retrieved from [http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/democratic-governance/oslo\\_governance\\_centre/user-s-guide-on-assessing-water-governance.html](http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/democratic-governance/oslo_governance_centre/user-s-guide-on-assessing-water-governance.html)
- Klijn, H. (2008). Governance and Governance Networks in Europe: An Assessment of 10 years of research on the theme. *Public Management Review*, 10(4), 505-525. doi:10.1080/14719030802263954
- Lester, J. P., & Goggin, M. L. (1998). Back to the future: the rediscovery of implementation studies. *Policy Currents*, 8(3), 1-9.
- Lira, I. (2016, April 22). Empresas volvieron el Río Atoyac un cochinerito, concluye muestreo. *Sin embargo*. Retrieved from <http://www.sinembargo.mx/22-04-2016/1651268>
- Ochoa, S., & Arroyo, M. Á. (2016, Marzo, 15). 'Matan' al río Atoyac 3 mil 500 industrias. *Milenio*. Retrieved from [http://www.milenio.com/estados/industrias\\_matan\\_al\\_rio\\_Atoyac-contaminacion\\_del\\_rio\\_Atoyac-Dale\\_la\\_Cara\\_al\\_Atoyac\\_0\\_701329893.html](http://www.milenio.com/estados/industrias_matan_al_rio_Atoyac-contaminacion_del_rio_Atoyac-Dale_la_Cara_al_Atoyac_0_701329893.html)
- OECD. (2013). *Making water reform happen in Mexico*. Retrieved from [http://www.oecd-ilibrary.org/fr/governance/making-water-reform-happen-in-mexico\\_9789264187894-en](http://www.oecd-ilibrary.org/fr/governance/making-water-reform-happen-in-mexico_9789264187894-en)
- OECD. (2015). *OECD Inventory Water Governance Indicators and Measurement Frameworks*. Retrieved from [http://www.oecd.org/gov/regional-policy/Inventory\\_Indicators.pdf](http://www.oecd.org/gov/regional-policy/Inventory_Indicators.pdf)
- OEM. (2013, April 29). [CONAGUA presents integral project to treat residual water of the Atoyac river] Presenta CONAGUA proyecto integral para tratar el agua del río Atoyac. *OEM en línea*. Retrieved from <http://www.oem.com.mx/oem/notas/n2966198.htm>
- Ostrom, E., Janssen, M., & Anderies, J. (2007). Going beyond panaceas. *PNAS*, 104(39), 15176–15178. doi:10.1073/pnas.0701886104
- Pacheco-Vega, R. (2009). Arreglos institucionales para el saneamiento de aguas residuales en México. Un caso de estudio en la cuenca Lerma-Chapala. In I. S. Osorio, R. L. Carmo do, S. Vargas Velázquez, & N. B. Guzmán (Eds.), *Gestión del agua: una visión comparativa entre México y Brasil* (pp. 97–106). Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- Pacheco-Vega, R. (2015). Urban wastewater governance in Latin America. In I. Aguilar-Barajas, J. Mahlknecht, J. Kaledin, M. Kjellen, & A. Mejia-Betancourt (Eds.), *Water and Cities in Latin America: Challenges for Latin America* (pp. 102–108). London: Earthscan/Taylor and Francis.
- Pahl-Wostl, C. (2015). *Water Governance in the Face of Global Change: From Understanding to Transformation*. London: Springer.
- Rhodes, R. (1996). The new governance: Governing without Government. *Political Studies*(44), 652 – 667. doi:10.1111/j.1467-9248.1996.tb01747.x
- Rodríguez, E. (2010). *Gobernanza del saneamiento en la cuenca Atoyac-Zahuapan del Estado de Tlaxcala*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Retrieved from <http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/handle/123456789/351>



- UNAM Red del Agua, & Instituto de Ingeniería. (2012). *Programa de Apoyo al Desarrollo Hidráulico de los Estados de Puebla, Oaxaca y Tlaxcala*. Retrieved from [http://www.agua.unam.mx/padhpot/assets/cdh/generales/Reportefinal\\_formulacion\\_200812.pdf](http://www.agua.unam.mx/padhpot/assets/cdh/generales/Reportefinal_formulacion_200812.pdf)
- Van Kersbergen, K., & Van Waarden, F. (2004). 'Governance' as a bridge between disciplines: Cross-disciplinary inspiration regarding shifts in governance and problems of governability, accountability and legitimacy. *European Journal of Political Research*(43), 143–171. doi:10.1111/j.1475-6765.2004.00149.x
- Van Rijswijk, M., Edelenbos, J., Hellegers, P., Kok, M., & Kuks, S. (2014). Ten building blocks for sustainable water governance: An integrated method to assess the governance of water. *Water International*, 39(5), 725–742. doi:10.1080/02508060.2014.951828
- Vinke-de Kruijf, J., Kuks, S., & Augustijn, D. (2015). Governance in support of integrated flood risk management? The case of Romania. *Environmental Development*, 16(December), 104–118. doi:10.1016/j.envdev.2015.04.003



Extenso ID: 152. Sara L. Medrano Lucas<sup>1</sup> y Ana L. Burgos Tornadú<sup>2</sup>. PARTICIPACIÓN Y CAPITAL SOCIAL PARA EL MANEJO DE CUENCAS: EVALUACIÓN DE LOS CONSEJOS DE SEGURIDAD HÍDRICA EN EL BAJO BALSAS (MICHOACÁN).

[Regresar al índice](#)

<sup>1</sup>ENES-UNAM campus Morelia, ant. Carretera a Pátz., [smedrano@lcambientales.unam.mx](mailto:smedrano@lcambientales.unam.mx)

<sup>2</sup>CIGA – UNAM campus Morelia, ant. Carretera a Pátz., [aburgos@ciga.unam.mx](mailto:aburgos@ciga.unam.mx)

### **Resumen:**

En cuencas de alta marginación y aislamiento geográfico cobra importancia la organización local para propiciar la seguridad hídrica (SH) autogestiva. Durante 2013 se impulsó una experiencia de participación y construcción de capital social en el Sistema Hidrográfico Presa Infiernillo Bajo Balsas (Michoacán), constituyendo cuatro Consejos Locales de Seguridad Hídrica (COLSHID) a escala de subcuenca. El proceso fue facilitado por una ONG (Grupo Balsas) y un núcleo académico (CIGA-UNAM). Los COLSHIDs siguieron el ciclo de manejo adaptativo para protección de riesgos hídricos a escala ejidal, pero concertado a escala de subcuenca. El objetivo del trabajo fue caracterizar el proceso de construcción de capital social, considerando sus contextos hídrico (problemática) e institucional (marcos regulatorios y soporte). Durante un año se dio seguimiento participante en tiempo real a las actividades de los cuatro COLSHIDs para la definición de problemas, planeación de acciones, implementación, monitoreo y evaluación. Para su análisis se generaron indicadores de participación, aprendizaje social, apropiación comunitaria del proceso y acción colectiva. El contexto hídrico destacó el clima estacional, relieve pronunciado, la ocurrencia de picos de crecida, pérdidas materiales y aislamiento, así como sequía intra-estacional (canícula). De noviembre a junio, la precipitación casi nula genera alto déficit hídrico. El contexto institucional para la creación y funcionamiento de órganos locales (e.g. COLSHIDs) se soporta en convenios internacionales suscritos por México para alcanzar la SH mediante la gobernanza; pero las políticas públicas y dependencias responsables son jerárquicas y desvinculadas de la sociedad. Así, los gobiernos Federal, Estatal y Municipal mostraron desinterés o incapacidad operativa para coadyuvar. El proceso participativo generó aprendizaje social de doble bucle pues los ejidos mostraron inclusión de la incertidumbre, reflexión y toma de decisiones acertada. Las actividades incrementaron la solidaridad, confianza y reciprocidad entre comunidades dentro y entre subcuencas. La asistencia, puntualidad y participación indicaron interés constante; las actividades conjuntas y movimientos inter-ejidales mostraron acción colectiva efectiva. Se concluye que las iniciativas locales son fundamentales para el manejo de cuencas rurales con alta precariedad hídrica. Dada la fuerte debilidad del contexto institucional, la continuidad de estas iniciativas se ve dificultada sin la presencia de actores externos (ONGs, universidades).

**Palabras clave:** Capital social, aprendizaje social, seguridad hídrica.

### **1. INTRODUCCIÓN.**

El agua siempre ha sido una piedra angular para el progreso de las sociedades humanas (Grey & Sadoff, 2007), sin embargo es uno de los grandes problemas ambientales en la actualidad, debido a que existen grandes extensiones que sufren estrés hídrico considerable, a lo que se le añade el crecimiento poblacional y económico, que aumenta la demanda de agua. Paralelamente la calidad del agua disponible se ha deteriorado, debido a fuentes de contaminación como vertederos de aguas residuales, desechos industriales y uso de agroquímicos y pesticidas que contaminan los cuerpos de agua (ONU, 2013).

En México el agua es reconocida como tema estratégico, sin embargo es necesario que se cuente con su propio modelo de gestión del agua, mediante una gestión contextualizada, adaptada a retos específicos de cada territorio y a sus capacidades para financiamiento, conocimientos técnicos y reformas que se requieran (OCDE, 2012).

Uno de los temas actuales en la problemática del agua es la atención prestada al nivel local, que carece de capacidad necesaria para contar con un enfoque integrado en la gestión de los recursos hídricos (ONU, 2015). La propuesta gubernamental para el manejo hídrico, son los Consejos de Cuenca (CONAGUA, 2014), sin embargo no están resolviendo la problemática existente, ya que carecen de facultades de planeación, regulación y financiamiento para llevar a cabo sus funciones (OCDE, 2012), debido a que los modelos de gestión pública del agua son centralistas, paternalistas y están alejados de la realidad cotidiana (Pacheco & Basurto, 2008), se requiere de la puesta en marcha de nuevas formas de relación comunitaria, acompañados por el actuar de instituciones públicas y privadas (OCDE, 2012).

Casi el 80% de la población mundial está expuesta a altos niveles de amenazas relacionadas con el agua (Vorosmarty et al, 2010), por lo que se planteó el concepto de seguridad hídrica, que se refiere a la capacidad de una localidad, comunidad, región o país (Grey & Shadof) para mantenerse fuera de riesgos hídricos (ya sea por falta o exceso de agua), reduciendo la incertidumbre y siendo previsible (SIWI, 2000). Un requisito previo para lograr la seguridad hídrica es la construcción de capacidades (ONU, 2015), que de acuerdo a la UNESCO es donde radica la crisis del agua, y no necesariamente en la abundancia o escases del líquido (Domínguez, 2008). Por lo que una asociación civil (A.C.) Grupo Balsas y un núcleo académico (CIGA-UNAM) iniciaron una novedosa estrategia de participación social, mediante organismos independientes conformados por cuatro instituciones locales campesinas, y ciudadanas incluyen dieciséis ejidos y constituyen una misma cuenca, cada unidad se denomina “Consejo de Seguridad Hídrica” (COLSHID).

Dicha estrategia se llevó a cabo dentro de un marco de manejo adaptativo que permite considerar la complejidad de los sistemas, integrando los diferentes tipos de incertidumbre en su programa, haciendo uso de las propiedades auto - organizadas del sistema y facilitando el desarrollo de capacidades (Van der & Van, 2007). El proceso abarca cinco etapas establecidas en el cuadro 4 (Mostert et al. 2007). Dicho proceso facilita la generación de dos componentes que son necesarios para el desarrollo y la aplicación de políticas (Mostert et al. 2007), debido a que incentivan la capacidad operativa, transparencia, participación, rendición de cuentas y acceso a recursos legales (ONU, 2010), los resultados de dichos componentes son: el capital social y el aprendizaje social.

El aprendizaje social es un proceso participativo de cambio social, en el cual las personas aprenden unas de otras, desarrollando nuevas capacidades de relación; tanto entre elementos de un núcleo social, como con sectores externos (Reed et al, 2010). Hace hincapié en la importancia de la colaboración para adquirir diferentes perspectivas, en la organización y en el desarrollo de nuevos conocimientos, actitudes, habilidades y comportamientos para incrementar la adaptación al cambio, hacer frente a la incertidumbre (Mostert et al, 2007).

Niveles del aprendizaje social:



- Un solo bucle: repeticiones de conductas, rutina (Fiol & Lyles, 1985).
- Doble bucle: el participante cuestiona el cambio en los aspectos fundamentales de la organización (Argyris, 1976), contribuye al desarrollo de normas y asociaciones complejas sobre nuevas acciones, tiene comprensión de la causalidad, modifica sus hipótesis iniciales (Fiol & Lyles, 1985).
- Triple Bucle: Gran reflexión y acciones que responden a las condiciones que la estructura de los patrones de interacción en el aprendizaje, es aprender a aprender (Maarleveld & Dangb'ègnon, 1998).

El segundo componente, el capital social es el conjunto de relaciones sociales basadas en la confianza, cooperación y reciprocidad, mediadas por normas y valores (Durstun, 2002), que permiten a los actores movilizar recursos para lograr metas comunes y proveen mayores beneficios a aquellos que cuentan con capital social que a los que no cuentan con él.

Actualmente existen numerosos proyectos que incorporan la participación social, sin embargo hay pocos estudios de que hayan ocurrido verdaderos procesos de madurez social, lo que debilita las evidencias de que dichos procesos pueden conducir a la gobernanza de los recursos hídricos (Reed et al, 2010). El estudio de procesos de colaboración social y el análisis de aprendizaje social, contribuirían a entender los mecanismos por los que se producen, para desarrollar intervenciones más eficaces que fomenten la fortaleza de redes sociales (Reed et al, 2006). Debido a ello, la presente investigación documenta y analiza el proceso de construcción y operación de unidades de participación social comunitaria, consejos de seguridad hídrica (COLSHID), basados en la cooperación entre sus miembros, para impulsar acciones organizadas e informadas que conduzcan a la Seguridad Hídrica de las comunidades que lo conforman.

**Objetivo general:** Analizar el proceso de participación social y consolidación organizativa para el manejo de los recursos hídricos en la cuenca rural del Sistema Hidrográfico Presa Infiernillo – Bajo Balsas (Michoacán).

**Objetivos particulares:**

1. Establecer el contexto hídrico e institucional en el cual se inserta el proceso de construcción del capital social en el SH (sistema hídrico) Presa Infiernillo – Bajo Balsas.
2. Determinar el proceso de conformación y operación de los Consejos Locales de Seguridad Hídrica establecidos en cuencas rurales del SH presa Infiernillo – Bajo Balsas.
3. Analizar la respuesta de los actores en las diferentes etapas del proceso incluyendo su concepción sobre seguridad hídrica, planeación, toma de decisiones, ejecución y evaluación, estableciendo ventajas y desventajas del proceso.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de estudio forma parte de zona baja de la región Hidrológico-Administrativa Balsas, cuenca exorreica que alimenta a la presa Infiernillo. Se conforma por La Sierra Madre del Sur y El Eje Neovolcánico, cuya evolución propicia una serie de características orográficas, climáticas e hidrológicas, que influyen en la formación y desarrollo de una amplia gama de suelos con diversas vocaciones, y en el desarrollo de una gran biodiversidad. La Región se divide en tres subregiones: Alto Balsas, Medio Balsas y Bajo Balsas 34 954 km<sup>2</sup> (CONAGUA, 2010). La presente investigación se desarrolló en dieciséis ejidos, pertenecientes a los municipios de Churumuco y La Huacana dentro de las subcuencas del Bajo Balsas con las siguientes características:

**Características Ambientales:** En la zona predominan las corrientes de agua intermitentes, seguidas por las corrientes de agua no perennes que abundan en el sector norte, ambos municipios presentan sus temperaturas más altas en los meses de Abril, Mayo y Junio, con sequías extensas y las menores temperaturas en Enero y



Febrero, con riesgo de heladas en esos meses (Solórzano et al 2010). El periodo de lluvias es entre junio y septiembre, siendo este último el de mayor intensidad anual con el 20% del total (CONAGUA, 2010).

**Características Socioeconómicas:** Los municipios de Churumuco y La Huacana presentan alto grado de marginación y falta de gobernabilidad, lo que en cierta medida se debe a la presencia de grupos delictivos organizados, y a la dispersión geográfica de las comunidades, factor que dificulta la prestación de servicios.

**Métodos.** Para cumplir con los objetivos específicos se llevaron a cabo las siguientes acciones:

**Cuadro 1.** Métodos utilizados para cada objetivo específico.

Objetivo específico	Método
Establecer el contexto hídrico e institucional en el cual se inserta el proceso de construcción del capital social en el SH (sistema hídrico) Presa Infiernillo – Bajo Balsas.	Se realizó investigación participante, entrevistas, revisión bibliográfica y periodística, y se calificó la participación municipal en la Agenda 21.
Determinar el proceso de conformación y operación de los Consejos Locales de Seguridad Hídrica establecidos en cuencas rurales del SH presa Infiernillo – Bajo Balsas.	Se realizó investigación participante, revisión bibliográfica académica, de informes, antecedentes y metodología de la A.C. Grupo Balsas.
Analizar la respuesta de los actores en las diferentes etapas del proceso incluyendo su concepción sobre seguridad hídrica, planeación, toma de decisiones, ejecución y evaluación, estableciendo ventajas y desventajas del proceso.	Con base en una investigación bibliográfica se construyó un índice de capital social y uno de aprendizaje social, compuestos por parámetros que a su vez son constituidos por atributos, y cada atributo cuenta con una fuente de datos o un indicador cualitativo o cuantitativo respectivamente, descritos en los cuadros 2 y 3.

**Cuadro 2.** Índice de aprendizaje social, fuente de datos obtenidos y técnicas analíticas de acuerdo a sus atributos.

Parámetro	Atributos	Fuente de datos	Técnica analítica
Aprendizaje	1.Aprendizaje Operativo 2.Aprendizaje Conceptual 3.Dar sentido a la información disponible	1. Autodiagnóstico, encuestas y porcentaje de obras bien hechas. 2.Encuestas 3. Encuestas y porcentaje de obras bien hechas.	<i>Se identificara el nivel de aprendizaje operativo que los ejidos consideran que tuvieron y se considerará el porcentaje de obras exitosas.</i>
Disminución		4.Tablero de seguridad hídrica y número de obras bien hechas,	<i>Se ponderara el nivel de adaptación que los ejidos</i>



de vulnerabilidad	4.Adaptación	índole de la obra (abasto o calidad de agua)	<i>consideran haber obtenido, y se considerará el porcentaje de obras exitosas.</i>
Gestión	5.Reflexión 6.Comprensión e inclusión de incertidumbre 7.Gestión de cartera 8.Nivel de panificación	5.Tablero de reflexión 6. Porcentaje de obras bien hechas. 7. Reparto presupuestal, formas de eficientizar el gasto y rendición de cuentas. 8. Porcentaje de obras bien hechas y el nuevo plan hecho.	<i>Se ponderará el nivel de reflexión que los ejidos consideran haber obtenido, el porcentaje de obras bien hechas, se clasificara de manera cualitativa la forma de repartir el presupuesto y se analizara el plan 2014 que realizaron los ejidos.</i>

**Cuadro 3.** Índice de capital social, fuente de datos obtenidos y técnica analítica empleada.

Parámetro	Atributo	Indicador	Fuente de datos	Técnica analítica
Participación efectiva	Interés	a. Asistencia	<i>Acta y lista de asistencia</i>	<i>Variación temporal de los asistentes a lo largo del 2013 (# asistentes / # convocados *100).</i>
		b. Intervenciones públicas durante las reuniones	<i>Observación externa del número de intervenciones por asistente</i>	<i>Se graficará la evolución de la participación por consejo a lo largo del proceso, # metas alcanzadas / # metas propuestas *100.</i>
		c. Puntualidad	<i>Lista de puntualidad</i>	<i>Variación temporal de la puntualidad a lo largo del 2013 (# ejidos puntuales / # ejidos convocados *100).</i>
	Cumplimiento de roles	a. Asistencia de autoridades ejidales y del COLSHID.	<i>a) Acta y lista de asistentes a las reuniones del COLSHID.</i>	<i>a) Trayectoria de la asistencia de las autoridades ejidales (# asistentes con cargo / # personas con nombramiento *100), y su variación temporal a lo largo del 2013.</i>



		b. Número de tareas asignadas que fueron realizadas (# de tareas planificadas/ #de tareas realizadas *100).	b) Acta, lista de obras y lista de asistentes a las actividades asignadas.	b) Porcentaje de actividades realizadas en relación con las otorgadas a los ejidos (# actividades realizadas por ejido / # actividades asignadas por ejido *100).
Apropiación comunitaria del proceso organizativo	Motivación a la participación	Diferencia en la asistencia a lo largo del año.	Acta y lista de asistentes a las reuniones del COLSHID.	Evolución de la asistencia por ejido y consejo a lo largo del 2013.
	Toma de decisiones efectiva	Problema Vs Planificado	Base de datos de obras planificadas y monitoreo	Porcentaje de metas alcanzadas en relación con las metas propuestas (#metas alcanzadas / # metas propuestas *100).
Acción Colectiva	1.Colaboración	Número actividades realizadas en conjunto	Base relaciones inter-ejidales y lista de sesiones.	Cantidad de actividades que se realizaron en conjunto
	2.Confianza	2.1. Disposición a movimientos inter-ejidales y permanencia en espacios de convivencia  2.2. Rendición de cuentas	a) Base relaciones inter-ejidales Actas de sesiones)  b) Base de datos administrativos.  Acta de sesión de planeación y registros de presupuesto	Cantidad de movimientos inter-ejidales, rendición de cuentas y número de actividades sociales realizadas. Porcentaje de movimientos a diferentes ejidos (# de movimientos inter-ejidales realizados / # de movimientos inter-ejidales propuestos *100).  Porcentaje de gastos de los que se rindieron cuentas (# de gastos rendidos / # de gastos realizados *100).



			<i>solicitado.</i>	
	3.Negociación	31. Reparto presupuestal	<i>Acta de reparto presupuestal.</i>	<i>Se clasificara de manera cualitativa la forma de repartir el presupuesto</i>
	4.Organización	4.1.Cantidad de soluciones a imprevistos	<i>a) No. De soluciones técnicas vs no. De imprevistos.</i>	<i>Porcentaje de soluciones a imprevistos (# de soluciones / # de imprevistos * 100).</i>
		4.2. Planificado Vs Logrado	<i>b) No. de obras bien ejecutadas vs planeadas.</i>	<i>Porcentaje de obras bien ejecutadas (# de obras bien ejecutadas/ # de obras planeadas*100).</i>
	5. Diversidad de actores	5.1. Diversidad de actores involucrados en los COLSHID	<i>Listas de asistencia.</i>	<i>Se clasificará a los asistentes del COLSHID en categorías (Edad, género c/ cargo, y s/ cargo), se observará la variación de los grupos a lo largo del año.</i>
		6.1. Actividades realizadas en conjunto	<i>Base relaciones inter-ejidales.</i>	<i>a)Cantidad de instituciones diferentes que trabajaron con el COLSHID</i>  <i>b) Cantidad de actividades que se realizaron en conjunto</i>
	6. Responsabilidad entre grupos			

### 3. RESULTADOS

**Objetivo 1.** Establecer el contexto hídrico e institucional en el cual se inserta el proceso de construcción del capital social en el SH- Bajo Balsas.

Contexto hídrico: clima estacional, relieve pronunciado, con ocurrencia de picos de crecida, pérdidas materiales y aislamiento, así como sequía intra-estacional (canícula). De noviembre a junio, la precipitación casi nula genera alto déficit hídrico. La SH en el sistema hidrográfico Presa Infiernillo, Bajo Balsas está limitada por las siguientes características biofísicas y tecnológicas:

- 1.- Fuerte estacionalidad en las precipitaciones y marcado déficit hídrico.
- 2.- Fuentes de agua limitadas.
- 3.- Calidad del agua.
- 4.- Infraestructura hídrica deficiente e insuficiente para el aprovechamiento de agua.
- 5.- Amenazas hidrometeorológicas.

Contexto institucional: las políticas públicas y dependencias responsables son jerárquicas y desvinculadas de la sociedad, pese a que el gobierno puede ser concurrente; siendo que tiene poder de toma de decisiones, construcción e implementación de estrategias para la concurrencia, y la capacidad de vincularse con la ciencia para desenvolver una relación eficiente entre el conocimiento y el poder para la formación de política pública. En las actividades realizadas los gobiernos Federal, Estatal y Municipal mostraron desinterés o incapacidad operativa para coadyuvar.

**Fig 1.** Marco institucional para el logro de la seguridad hídrica en Tierra Caliente, Michoacán.



**Objetivo 2.** Determinar el proceso de conformación y operación de los Consejos Locales de Seguridad Hídrica establecidos en cuencas rurales del sistema hídrico presa Infiernillo: se identificaron las siguientes actividades como cruciales para el proceso de conformación y seguimiento de los consejos:

**Cuadro 4.** Acciones participativas a lo largo del marco de manejo adaptativo.





Etapa	Acción
Instalación y diagnóstico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis de información sobre SH.</li> <li>Elaboración de diagnóstico hídrico.</li> </ul>
Elaboración del plan de obras	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reflexión sobre toma de decisiones y disminución de incertidumbre.</li> <li>Presentación del plan de obras por ejido.</li> <li>Análisis y toma de decisión para realizar acciones en conjunto para construcción de obras.</li> <li>Asignación del presupuesto.</li> <li>Elaboración del plan de obras.</li> </ul>
Seguimiento al plan de obras	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reflexión sobre la ajuste de imprevistos.</li> <li>Análisis sobre organización ejidal durante la ejecución al plan de obras.</li> <li>Presentación de avance y dificultades en el plan de obras.</li> <li>Rendición de cuentas.</li> <li>Construcción conjunta sobre concepto de SH.</li> </ul>
Evaluación del proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detectar áreas de oportunidad y fortalezas del consejo.</li> <li>Autodiagnóstico de SH después del proceso.</li> <li>Construcción de visión a futuro (independiente de contar con financiamiento o no).</li> </ul>

**Objetivo 3.** Analizar la respuesta de los actores en las diferentes etapas del proceso incluyendo su concepción sobre seguridad hídrica, planeación, toma de decisiones, ejecución y evaluación, estableciendo ventajas y desventajas del proceso.

De acuerdo a los resultados obtenidos con base en los cuadros 2 y 3, se analizó la respuesta que cada COLSHID tuvo durante el proceso de instalación y operación en el 2013. Los consejos presentaron algunas variantes en los niveles respuesta de los indicadores, tanto en aprendizaje social como en capital social; sin embargo en los cuatro COLSHID se dictaminó que existió un proceso de aprendizaje social de doble bucle y que se constituyó capital social, conclusión que se basa en los siguientes análisis:

**Cuadro 5.** Resultados obtenidos sobre el aprendizaje social que los COLSHID lograron durante el año 2013.

APRENDIZAJE SOCIAL				
Parámetro	Nombre del COLSHID			
	La Laguna	Poturo	Arroyo San Pedro J.	Arroyo Grande Ch.
Aprendizaje	El proceso participativo generó aprendizaje social de doble bucle, pues los ejidos mostraron inclusión de la incertidumbre, reflexión y toma de decisiones acertada, logrando la ejecución del plan de obras exitosamente. Además se observó que el aprendizaje obtenido,			



	modificó patrones sobre su concepción del mundo, ya que su forma de ver la región del Bajo Balsas, cambió hacia un enfoque de cuenca y una región pluralizada que puede generar sinergia.
Disminución de vulnerabilidad	Pese a que ningún consejo cubrió completamente sus necesidades hídricas, si disminuyeron su nivel de vulnerabilidad, ya que se mitigaron algunas necesidades de abasto y calidad de agua en más de dos usos de agua, además de que incluyeron el factor de incertidumbre para la ejecución del plan de obra, llevándolo a cabo exitosamente.
Gestión	Adicional a ello los COLSHID manifestaron sentirse más capaces para solucionar retos hídricos, ya que tienen mayor capacidad de organización y gestión. La mayoría de los ejidos fácilmente llevaron a cabo su reparto presupuestal conforme a las necesidades de cada ejido, apartándose del paradigma común de asignar dinero por partes iguales a cada unidad agraria, mostrando solidaridad, reciprocidad y comprensión sobre el enfoque de cuenca.

**Cuadro 6.** Resultados obtenidos sobre la construcción de capital social por parte de los COLSHID en el primer año de su instalación.

CAPITAL SOCIAL				
Parámetro	Nombre del COLSHID			
	La Laguna	Poturo	Arroyo San Pedro J.	Arroyo Grande Ch.
Participación efectiva	En general se observaron muy buenos niveles de asistencia y puntualidad a las reuniones, y pese a la timidez que caracteriza el grupo social (rural) que compone los COLSHID la cantidad de intervenciones públicas (preguntas, comentarios, contribuciones, etc) y el número de interventores en las reuniones aumentaron.			
Cumplimiento de roles	La mitad de los COLSHID obtuvo un nivel de asistencia alto por parte de las autoridades, consolidando los consejos como instituciones en cada ejido. La otra mitad requiere fortalecer el compromiso de sus autoridades locales con la mitigación de su problemática hídrica. Sin embargo, todos los COLSHID respondieron favorablemente al cumplimiento de las tareas asignadas en las reuniones, fortaleciendo el cumplimiento de roles, ya que se respetan los consensos.			
Apropiación comunitaria del proceso	Los consejos se apropiaron del proceso desde el inicio, ya que en la mayoría de las sesiones el nivel de asistencia fue bueno y los miembros de cada COLSHID se encargaron de generar soluciones a los imprevistos que se presentaban para terminar con la construcción de obras, mostrando determinación para cumplir con los acuerdos.			
Acción Colectiva	Se realizaron muchas actividades conjuntas entre ejidos, para lo cual los ejidos no presentaron objeciones en realizar movimientos interejidales, pese a que el proceso se gestó en una zona de conflicto y peligro. Todos los ejidos llevaron a cabo la rendición de cuentas, aumentando la confianza entre los miembros, además de incrementar el sentido de reciprocidad llevando un reparto presupuestal de acuerdo a las necesidades de los ejidos. Otro factor que indica se generó acción colectiva, fue que existió			

	diversidad de actores en la conformación de los COLSHID.
--	--

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para realizar el presente análisis se llevó a cabo la investigación participante, a la par de la investigación teórica, lo que disminuyó las opciones para identificar algunos atributos que contribuyeran a identificar el nivel de madurez social en el grupo en las primeras etapas. Pese a ello, se cumplieron los objetivos de investigación, obteniendo las siguientes conclusiones:

- Los esfuerzos en busca de la seguridad hídrica deben de ser dirigidos a detonar construcción de aprendizaje social y capital social, para tener un impacto acertado en las necesidades poblacionales e incentivando que exista una apropiación del proceso.
- Un proceso de manejo adaptativo incentiva el empoderamiento de las comunidades para la gestión de sus recursos hídricos, ya que facilita un espacio de intercambio de ideas y flexibilidad para ajustar imprevistos y permitiendo a los diferentes puntos de vista e interpretaciones, negociar y establecer acuerdos.
- Se recomienda que existan más procesos de recaudación de datos, análisis y descripción de los mismos, para generar más conocimiento objetivo sobre cómo funcionan los procesos de empoderamiento y los alcances que tienen, para contribuir a su replicación.

#### 5. AGRADECIMIENTO

Se le agradece ampliamente a la A.C. Grupo Balsas por facilitar el análisis del primer año de operación de los COLSHID mediante acción participativa, así como por las facilidades para obtener información de gabinete para la presente investigación. También al CIGA – UNAM por la orientación académica para el análisis de la constitución de los COLSHID, bajo un enfoque de cuenca. A la ENES – UNAM por las facilidades académicas y administrativas para que dicho análisis sea motivo de obtención de grado de licenciatura. A la Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA) por el apoyo económico para que operaran los COLSHID, bajo el proyecto “Bases técnicas, organizativas e institucionales para el manejo de cuencas” en el Bajo Balsas, Michoacán, propiciando los medios para presenciar las diferentes etapas de conformación de unidades agrarias organizadas. Y por supuesto se agradece a los consejos de seguridad hídrica por permitir la inclusión de una observación activa, sin restricciones durante diferentes etapas de trabajo.

#### 6. LITERATURA CITADA

- Argyris, C. (1976). Single-Loop and Double-Loop Models in Research on Decision Making. *Administrative Science Quarterly*, Vol. 21, No. 3. pp. 363-375. Sage Publications, Inc. the Johnson Graduate School of Management, Cornell University.
- Sadoff, D. G. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 547 - 571.
- Van der, R. & Van, R. (2007). Facing the Adaptive Management Challenge: Insights from Transition Management. *Ecology and Society*. University of Maastricht.
- CONAGUA. (2010). Estadísticas del agua en la cuenca del Río Balsas: 2010. México. CONAGUA.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- CONAGUA. (2014). *Consejo de Cuenca del Río Balsas como caso de éxito en la gestión del Agua*, Instrumentación de la agenda del agua 2030. Seminario para agentes de cambio. Estado de México, CONAGUA.
- Durston, J. (2002). El capital social campesino en la gestión del desarrollo rural Díadas, equipos, puentes y escaleras. CEPAL. Santiago, Chile.
- Fiol, M. & Lyles, M. (1985). Organizational Learning. *The Academy of Management Review*, Vol. 10, No. 4, pp. 803-813. University of Illinois. Champaign, US.
- Maarleveld, M. & Dangbégnon, C. (1999). Managing natural resources: A social learning perspective. *Agriculture and Human Values*. Wageningen University and Research Centre, The Netherlands, 16: 267–280.
- Mostert, E., Pahl –Wostl, C., Rees, Y., Searle, B., Tábara, D., Tippet, J. (2007). Social Learning in European River-Basin Management: Barriers and Fostering Mechanisms from 10 River Basins. *Ecology and Society* **12**. 1Delft University of Technology, 2University of Osnabrück, 3WRc, 4Universitat Autònoma de Barcelona, 5University of Manchester, (1):19.
- OCDE. (2012). Hacer posible la reforma de la gestión del agua en México. México D.F.: OCDE.
- ONU. (2013). Water Security & the Global Water Agenda, A un- Water Analytical Brief. *United Nations University*. Canadá.
- ONU. (2015). Objetivos de desarrollo del milenio. Nueva York: ONU.
- Pahl-Wostl, C. (2002). Towards sustainability in the water sector – The importance of human actors and processes of social learning. *Aquatic Sciences*. University of Osnabrück. Osnabrück, Alemania.
- Pacheco, R. & Basurto, F. (2008). Instituciones en el saneamiento de aguas residuales: reglas formales e informales en el Consejo de Cuenca Lerma- Chapala.
- Reed, M. (2006). Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Elsevier*. University of Leeds. U.K.
- Reed , M , Evely , A C , Cundill , G , Fazey , I R A , Glass , J , Laing , A , Newig , J , Parrish , B , Prell , C , Raymond , C & Stringer , L 2010 , ' What is social learning? ' *Ecology and Society*, vol 1, no. 4, pp. r1.
- Sadoff, D. G. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 547 - 571.
- Stockholm International Water Institute (SIWI). (2000). Water Security for Multinational Water Systems - Opportunity for Development. *SIWI Seminar*. Stockholm, Suiza.
- Vorosmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M. O., Dudgeon, A., Prusevich, P., Green, S., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Liermann R.C. & Davies, P.M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*. Vol. 468. Wisconsin, USA.



Extenso ID: 5. Mariana Villada Canela<sup>a</sup>, Mariana Achirica Acosta<sup>b</sup>. LA INTERFAZ CIENCIA-POLÍTICA EN LA GESTIÓN DEL AGUA EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Ensenada, Baja California, México. e-mail: mvilladac@uabc.edu.mx

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias. Ensenada, Baja California, México. e-mail: machirica.88@gmail.com

## RESUMEN

La investigación científica se considera importante para la gestión de cuencas, pero su uso es cuestionado cuando, en la práctica, la información está sujeta a la inercia burocrática, no es entendible o no es compatible con las necesidades gubernamentales. Para el estudio de este problema, la Interfaz Ciencia Política (ICP) es un área de investigación científica y un proceso social que permite el intercambio, la co-evolución y la construcción conjunta de conocimiento con la participación de todos los interesados, bajo un proceso de concertación pluralista. No obstante, hay factores que pueden incentivar o limitarla gestión de las cuencas de manera sostenible: 1) el uso del lenguaje técnico, 2) trabajar bajo la incertidumbre, 3) la percepción distinta del tiempo, 4) un mutuo prejuicio entre los sectores, 5) la utilidad de la información académica y 6) el rol del intermediario científico.

Mediante entrevistas semi-estructuradas se evaluó la percepción de los dos principales sectores identificados (academia y gobierno) en el manejo del agua en la parte sur de la cuenca Río Tijuana-Arroyo Maneadero (Región Hidrológica No. 1, Baja California Noroeste-Ensenada), en donde además de la baja precipitación pluvial, persisten la escasez de fuentes de agua superficial, el poco reúso del agua residual tratada (ART), y la dependencia de los acuíferos sobreexplotados y con intrusión salina, factores que son producto de una gestión ineficiente y soluciones tecnificadas costosas (un acueducto y una desaladora), y que a su vez, genera controversias e intereses en disputa. Se encontró que: 1) excepto en el reúso del ART con fines agrícolas, la gestión pública del agua en la cuenca no se fundamenta en la información científica que por más de una década el sector académico ha producido, 2) ambos sectores indicaron que las formas en las que se comunican, incluyendo formatos y lenguaje, deben ser modificados y se deben buscar alternativas distintas al informe técnico como medio de vinculación, 3) y más importante aún, ambos sectores deben recurrir a un intermediario del conocimiento para la conciliación de perspectivas y la creación de convenios entre la academia y el gobierno u otro sector. Por último, se elaboraron recomendaciones desde el sector académico y desde el sector gubernamental para mejorar la interacción en la ICP en la gestión de cuencas.

**Palabras clave:** aspectos científico-políticos, toma de decisiones, acuíferos costeros, intermediario científico.

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector académico se vincula con el gubernamental como órgano de consulta que, en el mejor de los casos, guía y dirige las medidas que se llevan a cabo por los tomadores de decisiones. En el ámbito internacional, cada vez hay más ejemplos del vínculo entre ciencia y política, el cual está emergiendo rápidamente en proyectos e investigaciones (van den Hove, 2007). No obstante, la utilización de las recomendaciones que



derivan de la investigación científica es mínima cuando éstas no son aprovechadas por las autoridades públicas (Landry et al., 2003), lo que implica que la generación del conocimiento científico no siempre está en relación con su aplicación social o política y en gran medida, éste no es aprovechado por las agencias de gobierno (Garvin, 2001; McNie, 2007).

La importancia de la Interfaz Ciencia-Política (ICP) reside en que es un área de investigación científica que describe las características del uso de las investigaciones científicas en la toma de decisiones gubernamentales, y por tanto, puede aportar recomendaciones para mejorarla. Además, se trata de un proceso social que abarca las relaciones entre los científicos y otros actores políticos, que admite el intercambio, la co-evolución y la construcción conjunta de conocimiento con el objetivo de enriquecer la toma de decisiones (van den Hove, 2007). De esta forma, la ICP permite el surgimiento de un área de oportunidad entre el conocimiento académico que actualmente se genera y el beneficio que pueden obtener los tomadores de decisiones gubernamentales con información validada que respalde las medidas que se implementan en materia de política pública (Choi et al., 2005; Adrianto, 2011).

Por lo anterior, la meta principal de la ICP es propiciar que la academia fundamente científicamente las medidas que se implementan en materia de política pública, logrando que los tomadores de decisiones se interesen en vincularse y así exponer cómo deben estar integrados los aspectos sociales, ambientales y económicos (Choi et al., 2005; Adrianto, 2011). Como ejemplo, en algunos países surgió el interés por vincular a las instituciones gubernamentales con las investigaciones académicas y/o científicas (Lightowler y Knight, 2013), tales como la Fundación Canadiense de Servicios de Salud (Canadá), el Overseas Development Institute (Reino Unido), la Asociación para el Progreso de las Comunicaciones (Latinoamérica y Canadá) y la Oficina Internacional del Agua (Francia).

Esta investigación se interesó en buscar soluciones a los problemas ambientales que tienen lugar en México, especialmente en zonas áridas, en donde un tema prioritario es la escasez y el deterioro de la calidad del agua. En este contexto, la ciudad de Ensenada, Baja California, es considerada una zona desértica en donde la precipitación pluvial es de 260 mm/año, con una intensidad de sequía severa a extrema, donde hay un reúso mínimo del agua residual tratada (ART) y dependencia de acuíferos sobreexplotados y con intrusión salina, que reflejan una gestión ineficiente y promueven la búsqueda de soluciones tecnificadas costosas (un acueducto y una desaladora), que a su vez, generan controversias e intereses en disputa. Sin embargo, y a pesar de que los grupos de investigación locales llevan más de una década trabajando en la cuenca y las instancias gubernamentales han creado diversas políticas públicas, es evidente que las dificultades prevalecen. Por ello, la hipótesis que dirigió esta investigación fue que una de las posibles razones de esa problemática es la falta de vinculación efectiva entre el sector académico y el sector gubernamental.

En consecuencia, es ineludible investigar cómo la academia y el gobierno pueden fortalecer su vínculo de trabajo, ya que los usuarios ven en la academia a un intermediario que los apoya en sus demandas, y si cuentan con una relación más estrecha, es probable que pueda incrementarse y mejorar la participación ciudadana en el manejo integrado del agua y otros recursos naturales. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue conocer las percepciones y la utilidad de la ICP entre varios actores involucrados en la gestión del agua en Ensenada, para finalizar con una lista de estrategias apoyadas en acciones de intermediación que vinculen a la academia con la toma de decisiones gubernamental en cuencas afines.

## 2. MÉTODO

El método incluyó: 1) una búsqueda de la literatura pertinente en varias bases de datos internacionales y regionales (EBSCO, Elsevier, SpringerLink, BioOne, Scopus, Web of Science, Google Scholar, Scielo, Redalyc, Dialnet, entre otras), 2) la identificación de la literatura relevante y 3) su sistematización. Aunque el interés de este artículo se sitúa en la literatura disponible en todo el mundo, prestó especial atención a la

producida en México en cuestiones ambientales e hídricas. Aunque la revisión se centró en publicaciones arbitradas e indizadas, también se incluyeron publicaciones de organizaciones no gubernamentales, notas informativas, algunos reportes técnicos, planes y programas públicos. La búsqueda se hizo a partir de términos como “Interfaz Ciencia-Política” y “ciencia para la toma de decisiones”, “ciencia y gobierno”. Otro criterio de selección fue seleccionar trabajos empíricos, sobre todo aquellos que usan métodos de investigación cuantitativa (encuestas) y cualitativa (entrevistas). Se observó que de estas investigaciones, algunos no hacen explícito un marco teórico en ciencias sociales, pero de entre ellas, surgieron temas como las características de la ICP, sus facilidades y sus limitantes.

Se investigaron los antecedentes históricos de la ICP en general y en temas ambientales en particular, con lo cual se encontró que a la ICP se le puede denominar también como Interfaz Ciencia Política Ambiental (ICPA). En este sentido, la Ciencia Pública y la Comprensión Pública de la Ciencias son los dos enfoques que han tratado la relación ciencia – gobierno para resolver problemas sociales, el derecho y obligación de que la investigación científica sea de entendimiento general y el aprovechamiento científico y tecnológico a través de la historia. La comprensión de la relación ciencia – política y viceversa en el contexto internacional y su adaptación en México, también ayudaron a fundamentar el tema de la ICP.

Se eligió un caso de estudio mediante una búsqueda de trabajos científicos relacionados con el manejo de ecosistemas dentro de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). El contenido de la investigación debía: 1) tener una aplicación social y/o ambiental vinculada al manejo integrado de cuencas; 2) contar con la inquietud de llegar al ámbito gubernamental, y 3) tratar un tema de relevancia para la agenda pública nacional (Girard y Acosta y Lara, 2012). Así, se contactó a una investigadora del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) dentro de esta universidad, para que colaborara en la investigación.

Luego, se analizó el perfil del tomador de decisiones más apropiado para vincularlo con el caso de estudio elegido y se mantuvo trato constante con él. Antes del primer acercamiento, se le contactó a través de reuniones informales (Hernández et al., 2006), se utilizó la Ley de Aguas Nacionales (LAN) (DOF, 2004) y su reglamento como una forma de caracterizarlo de acuerdo a sus funciones administrativas y se preparó una presentación visual en donde la intención fue “vender la ciencia al cliente gubernamental” (Holmes y Clark, 2008).

Finalmente, se diseñaron dos tipos de guiones de entrevistas semi-estructuradas, una para actores académicos y otra para funcionarios. Los ejes temáticos fueron: tipos de actividades, formas de comunicación, percepciones sobre el desempeño profesional del otro sector, vinculación academia-gobierno y toma de decisiones informada. Se utilizó la técnica de “bola de nieve” y notas de periódico para construir una base de datos de los académicos y funcionarios más involucrados con el caso de estudio y/o en el manejo de agua en la parte sur de la cuenca Río Tijuana-Arroyo Maneadero, para finalmente aplicar las entrevistas y analizar los datos. Con el consentimiento informado de los entrevistados, todas las entrevistas fueron grabadas y transcritas de manera textual. Para su análisis, se llevó a cabo la sistematización de los datos a partir de las fases de inducción: conceptualizar, categorizar, organizar y estructurar (González, 1999).

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Fundamentos, limitaciones y debilidades de la ICP**

La ICP encuentra algunas de sus bases teóricas en la “Política Científica o Ciencia Pública”, y ésta última a su vez, en la orientación positivista, en la que el conocimiento científico rige las decisiones gubernamentales (Atkinson-Grosjean et al., 2001). La relación entre ciencia y gobierno se le atribuyó a Harvey Brooks, quien sugirió una división entre “ciencia en la política” y “política para la ciencia” o como también lo llama Pielke

(2014) la “cientificación para la política” o la “politización de la ciencia”: mientras la primera se relaciona con cuestiones administrativas dependientes de factores técnicos y en donde los científicos emplean la ciencia para situar o imponer poder, intereses e ideologías, la segunda tiene que ver con el desarrollo de políticas para la gestión y apoyo de la empresa científica nacional y requieren aportaciones de científicos para ser consideradas creíbles (Jasanoff, 1990).

Por su parte, la Comprensión Pública de la Ciencia (CPC) se basa en la suposición de que, si el público tiene una mejor comprensión de los métodos de la ciencia, tendrá mayor respeto tanto por la ciencia como por los científicos. Así, la CPC es importante en el desarrollo de un país porque: a) la industria nacional es más competitiva si los tomadores de decisiones entienden mejor qué es la ciencia, b) los científicos aprenden a comunicarse con el público, c) el público acepta financiar la ciencia y la tecnología con sus impuestos (Sánchez, 2010), y además, d) la información es imprescindible para tomar decisiones democráticas (Villada, 2013). No obstante estas aportaciones, no existe una corriente teórica exclusiva para examinar cómo comunicar la ciencia a los tomadores de las decisiones gubernamentales, que ayuden a identificar y evaluar las posibilidades y limitaciones de la ICP.

Por lo anterior, y de acuerdo con la literatura, se determinaron seis características para alcanzar el éxito o fracaso de la interacción ciencia/científico y tomador de decisiones de gobierno (Cuadro 1), lo que sirvió para elaborar e interpretar las entrevistas, y en donde se encontró que uno de los elementos más importantes para mejorar la ICP en la gestión de cuencas es el rol del intermediario. Los intermediarios científicos pueden ser investigadores, funcionarios públicos u ONG que interactúan tanto con el tomador de decisiones como con el/los científico(s), es decir, que se mueven entre dos mundos (Meyer, 2010).

### 3.2 Contexto del caso de estudio

Para contrastar la teoría con la práctica, se eligió la investigación titulada: “La participación pública en el manejo del agua en Ensenada, Baja California: el caso del valle de Maneadero”. Este proyecto se realizó durante 2014 por la Universidad Autónoma de Baja California y obedece al tipo de información que se adecúa a la agenda de gobierno actual, ya que trata de uno de los problemas más importantes para la región: el deterioro y la escasez del agua. Su objetivo fue determinar los retos, los obstáculos y las oportunidades para la participación pública en el manejo del agua en el acuífero de Maneadero, que se encuentra en la parte sur de la cuenca Río Tijuana-Arroyo Maneadero (Región Hidrológica No. 1, Baja California Noroeste-Ensenada).

El acuífero de Maneadero es una de las principales fuentes de abastecimiento para consumo humano y uso agrícola de la ciudad de Ensenada. El acuífero provee agua aproximadamente a 104,640 habitantes e irriga a 6,714 hectáreas que se utilizan para la siembra de forraje, hortalizas y frutas. La alta demanda de agua combinada con la falta de recarga del acuífero, han dado como consecuencia una sobreexplotación de al menos 40 años, teniendo como efecto su veda, contaminación e intrusión salina (CONAGUA, 2002; Sánchez-Rentería 2004; Daesslé et al. 2005). Las concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT) encontrados en algunos pozos muestreados, han excedido los 27 g/L (Daesslé et al., 2013) que para efectos prácticos, equivale casi a la salinidad del mar (35g/L).

Los impactos sociales, económicos y políticos que surgen de este problema ambiental se relacionan con el reemplazo de especies vegetales con más tolerancia a la salinidad, teniendo como consecuencia un ingreso bajo para los productores (Comunicación personal, Dirección de Comunicación Social de CONAGUA Mexicali, junio, 2014). A la salinidad de este valle, se le suma su condición árida, lo que ha provocado crisis y enfrentamientos entre distintos sectores de la población, especialmente los agricultores. En el ámbito económico, las pérdidas representan millones de pesos, si se toma en cuenta que la inversión en tecnología para mejorar la calidad de agua es de al menos \$800 mil pesos por agricultor y el 90% de lo cultivado en el

valle de Maneadero se exporta a California (Comunicación personal con el Comisariado Ejidal Nacionalista de Rodolfo Sánchez Taboada, febrero, 2015).

Cuadro 1. Elementos que caracterizan la Interfaz Ciencia-Política

Característica	Definición	Referencias
Uso del lenguaje técnico	El lenguaje técnico en ocasiones disminuye la atención del público en las cuestiones científicas, por lo que debe ser “traducido” antes de utilizarlo. Considerar tanto intereses académicos como gubernamentales es posible cuando existe una comunicación clara y se sustituye el lenguaje técnico por nuevas formas de atraer la atención.	Adrianto y Sutikno (2011), Bultitude <i>et al.</i> , (2012), Choi <i>et al.</i> , (2005), Čada y Ptáčková (2013), Meyer (2010), Sánchez (2001), Soomai <i>et al.</i> , 2013 Villada (2013)
Trabajar bajo la incertidumbre	El sector gubernamental requiere respuestas inmediatas, firmes y aplicables y el sector académico no puede predecir con exactitud los procesos naturales de estudio. Además, las decisiones de gobierno finalmente se guían en intereses personales o grupales, más que en la ciencia.	Adrianto y Sutikno (2011), Holmes (2008), Villada (2013)
Utilidad de la información científica y de la investigación académica	Dependiendo de sus objetivos, el impacto social o económico de una investigación puede no ser claro, en especial en atención a los temas de la agenda pública.	Adrianto y Sutikno (2011), Čada y Ptáčková (2013), Choi <i>et al.</i> , (2005), Garvin (2001), Holmes (2008), Landry (2003), McNie (2007), Villada (2013)
Mutuos prejuicios sobre el desempeño profesional	Persiste una percepción negativa del desempeño profesional entre científicos y tomadores de decisiones, así como falta de confianza entre ambos sectores y de apertura para entablar un diálogo en común, lo que disminuye la oportunidad de intercambiar ideas y entablar colaboraciones laborales con una responsabilidad compartida.	Adrianto y Sutikno (2011), Choi <i>et al.</i> , (2005), Garvin (2001), Holmes (2008), Villada (2013)
Distintas percepciones del tiempo	El tiempo académico es diferente al gubernamental. Mientras las investigaciones pueden ocurrir en lustros o décadas (entre más tiempo de investigación se requiera, más precisos y mejores serán los resultados), los tiempos gubernamentales dependen de los cambios en la administración pública, pues los problemas públicos deben atenderse con respuestas inmediatas.	Adrianto y Sutikno (2011), Choi <i>et al.</i> , (2005), Čada y Ptáčková (2013), Garvin (2001)
El rol del intermediario científico	Gestión y la generación de la ciencia para el tomador de decisiones u otro sector relacionado, se encarga de facilitar la creación, el compartimiento, el uso y co-producción de la información.	Choi <i>et al.</i> , (2005), Holmes (2008), Morgan (2010), Bultitude <i>et al.</i> , (2012) Meyer y Kearnes (2013)

### **3.3 Caracterización de actores entrevistados**

Para abordar el caso de estudio, se eligieron cinco funcionarios públicos, seis actores académicos y dos representantes de asociaciones de usuarios del agua en la parte sur de la cuenca Río Tijuana-Arroyo Maneadero, en Ensenada, Baja California, con la finalidad de conocer su experiencia acerca de la ICP en el manejo del agua. De las entrevistas se determinó que las áreas en las que trabajan los académicos son: geociencias ambientales, hidrogeoquímica, gestión integral del agua, análisis de políticas públicas ambientales y de agua, participación pública, balance, disponibilidad, recarga y reúso eficiente del agua. Además, desarrollan investigación dirigida al ordenamiento ecológico, las áreas naturales protegidas, manejo de recursos naturales, de manera interdisciplinar.

Por su parte, los actores gubernamentales pertenecen a diferentes ámbitos. En el ámbito estatal, los funcionarios desarrollan actividades relacionadas con la atención a los usuarios de los valles agrícolas del estado, la dotación de agua hacia los usuarios y todos los ciudadanos, la planeación estratégica a corto, mediano y largo plazo, el abastecimiento e cultura del agua. En el ámbito local, los funcionarios se dedican a la vinculación con la gente de la comunidad, solicitando apoyo para los ejidatarios y los usuarios del agua.

### **3.4 Vinculación entre academia y gobierno en el manejo del agua**

Los académicos desarrollan proyectos que buscan mejorar el manejo del agua en la cuenca y están dirigidos a los funcionarios públicos, ya que éstos tienen la facultad de otorgar permisos, dotar de infraestructura, datos técnicos y cobertura mediática. Por parte de los funcionarios, el interés radica en la validación y experiencia académicas frente a audiencias nacionales e internacionales y la sociedad civil. El hecho de contar con información de instituciones académicas de prestigio, como las universidades y centros de investigación de Ensenada, aumenta la credibilidad de las decisiones y fortalece sus relaciones. Aunque existe una relación laboral adecuada entre ambos sectores, los entrevistados señalan que las decisiones no se basan en la ciencia, sino que al final las autoridades obedecen a razones políticas o incluso se toman decisiones por personal que no está informado respecto al manejo del agua en la cuenca.

### **3.5 Relación entre la oferta académica y la demanda gubernamental en materia de agua**

La interacción entre academia y tomadores de decisiones en ciudades como Ensenada, en donde la comunidad científica es reconocida por la sociedad en general, no ha sido aprovechado de la manera que sugiere la teoría de la ICP, en la que ambas partes se unen formando un equipo de decisión. Cuando los temas de investigación se adaptan a los temas que las autoridades gubernamentales están llevando a cabo, es más probable que puedan entablar una agenda en común, o bien cuando las investigaciones científicas tienen un tinte social que se apoya en leyes o programas que el gobierno provee, tal como lo explican Holmes y Clark (2008).

Los resultados mostraron que la dinámica de interacción entre academia y tomadores de decisiones en ciudades como Ensenada en donde la comunidad científica es muy reconocida por la sociedad en general, no ha sido aprovechado de la manera que sugiere la teoría de la ICP, en la que ambas partes se unen formando una mancuerna de decisión. Así mismo, se encontró que en ocasiones a los funcionarios se les dificulta conocer cuál es la línea de trabajo de los investigadores a los que pudieran acercarse. Un entrevistado respondió que incluso invierten demasiado tiempo y preferirían que hubiera una oficina o un encargado de vinculación para conocer el trabajo de las universidades y centros educación superior.



### 3.6 Comunicación: formatos, contacto y convenios

Se encontró que los formatos que los académicos entrevistados utilizan son los resúmenes técnicos, las presentaciones escritas y orales con Power Point, el uso de gráficos o “ayudas visuales” en reuniones formales e informales; todo lo anterior tratando de utilizar un lenguaje que ellos consideran sencillo. No obstante, en la mayoría de las presentaciones dirigidas al sector decisor, se usan los gráficos, que sintetizan parámetros de calidad de agua como salinidad, pH, nutrientes, etc. Sin embargo, el sector gubernamental considera este tipo de información como descriptiva, pues carece de las implicaciones sociales, económicas y ambientales del problema, lo que conlleva a que no sea utilizada como un insumo para la toma de decisiones para la gestión del recurso hídrico.

Respecto al contacto, ambos tipos de actores se comunican a través de correos electrónicos, visitas directas o llamadas telefónicas. Los tiempos en los que se contactan dependen del tipo y alcance del proyecto, ya que pueden ser proyectos en los que el gobierno o la academia acuerden un convenio, siendo éste la forma más exitosa de trabajo, de acuerdo a los entrevistados de ambos sectores. En tanto al acceso de la información por parte de gobierno, las respuestas de los académicos es que ésta tiene un uso restringido. Sin embargo, y al mismo tiempo, la academia limita el uso de la información que genera, no permitiendo su publicación hasta que ellos lo autoricen, tal como sugieren Holmes y Clark (2008).

Por otro lado, la mayoría de los entrevistados académicos no conocen qué es lo que ocurre una vez entregado el informe técnico de sus investigaciones. La respuesta de las autoridades fue que los informes técnicos son evaluados por comités que se encuentran en las instancias a la que ellos pertenecen, en las que en ocasiones existen filtros como el formato, el lenguaje y tiempos de ejecución que pueden ser una barrera para ser leídos por tomadores de las decisiones finales en el sector gubernamental.

### 3.7 Contexto Político: conocer quién diseña las políticas e identificar posibles aliados

En primer lugar se identificó que algunos académicos procuran, antes del acercamiento, conocer las actividades y las atribuciones del funcionario al que van a dirigirse, con el fin de tener una mejor idea sobre los métodos y momentos de acercamiento más efectivos. Esto coincide con Clayton y Culshaw (2013) cuando sugieren a los académicos cambiar roles con los tomadores de decisiones para así considerar los intereses de ambas partes y saber cuándo y cómo puede resultar un acercamiento con mejores productos, ya que resulta más efectivo conocer *a priori* hacia quiénes se dirigen los trabajos académicos y así establecer estrategias para aumentar su aplicación (Finlay, 2012). En este caso de estudio, el Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada (IMIP) y el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) son dos grupos de intermediarios que los académicos consideran estratégicos para tener más apoyo del gobierno o de la sociedad.

### 3.8 Evidencias: establecer credibilidad a largo plazo

Mientras los funcionarios públicos trabajan por lapsos de tiempo cortos y definidos, los lapsos de tiempo académico pueden ser mucho mayores a los trienios o sexenios, inclusive décadas, por tanto, en el caso de los entrevistados académicos, la percepción del tiempo es mayor para plantear un problema, desarrollar o replicar una metodología, analizar los resultados y tomar acción en la problemática. Respecto a los funcionarios. Los cambios administrativos gubernamentales complican esa credibilidad a largo plazo: la discontinuidad de cargos provoca que, una vez reemplazado un funcionario, se tenga que iniciar una nueva relación laboral que impide saber si se continuará o no con un proyecto.

Además, los funcionarios públicos reconocieron que tener alianzas con la Universidad Autónoma de Baja California y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada incrementa la

confianza en los resultados de las investigaciones, y como consecuencia, la vinculación. Eso coincide con el hecho de que tener un respaldo científico, por parte de instituciones reconocidas a nivel estatal, nacional o internacional, mejora las condiciones para que exista más confianza entre los actores de ambos sectores.

### **3.9 El intermediario científico**

En la construcción de vínculos y la facilidad del uso de la información, el intermediario científico puede jugar distintos roles; se identificó que puede ser desde un científico que se dedica de manera exclusiva a la transferencia y/o co-generación de conocimiento, hasta un funcionario público que facilita ese intercambio con la academia desde su ámbito de acción. Por lo anterior, un intermediario científico es identificado con base en las actividades que realiza, más allá de su profesión o jerarquía, haciendo énfasis en que las acciones de intermediación pueden ser realizadas con o sin la conciencia de este ejercicio.

Se identificaron a tres tipos de intermediario: una académica, el COTAS y el IMIP. Desde la academia, la gestión de proyectos es una actividad extra y por ello pocas personas realizan esta doble función. La académica aseguró que es un trabajo que va más allá de sus actividades y aseguró que la intermediación es parte del éxito de la culminación de los proyectos. Los académicos consideran al COTAS y al IMIP como sus grandes aliados ya que facilitan la interacción con la Comisión nacional del Agua (CONAGUA), gestionando proyectos académicos cuyos resultados puedan verse reflejados en planes y proyectos de gobierno en cualquier ámbito.

### **3.10 Recomendaciones para vincular a la academia con la toma de decisiones**

Finalmente, dentro de las entrevistas se realizó una última pregunta con el fin de conocer cuáles serían las estrategias y propuestas futuras encaminadas a una ICP que fomente el manejo integrado de cuencas, lo cual concluyó en tres tipos de recomendaciones: a) desde la ciencia, b) desde la toma de decisiones y c) líneas de investigación propuestas desde la toma de decisiones para la academia.

Desde la academia: 1) llamar por teléfono, 2) conocer a quien va a recibir la información científica desde el inicio, 3) crear convenios, 4) determinar el impacto social de un proyecto, 5) conocer los formatos y términos de referencia que otorga el gobierno, 6) planear los proyectos teniendo en cuenta el factor de la incertidumbre, 7) asociarse con las agencias o institutos de investigación de gobierno, 8) asociarse con ONG para contar con su apoyo e incluso presupuesto, 9) dar seguimiento posterior a la entrega de los trabajos por escrito, 10) buscar una alternativa al informe técnico, como una herramienta cibernética, 11) contar con un glosario científico dentro de las recomendaciones, 12) definir el tipo de conocimiento que se genera, 13) dar soluciones a los problemas, además de describirlos, 14) encontrar aliados de la industria local, regional o del Estado, 15) organizar foros en los que se incluya a tomadores de decisiones, 16) tener una mayor participación ciudadana, 17) contar con apoyos de áreas como administración, mercadotecnia y diseño, 18) concretar proyectos, materializar ideas, 19) tomar en cuenta la participación de un intermediario científico desde la planeación de cualquier proyecto de manejo integrado de cuencas.

Desde la toma de decisiones gubernamental: 1) contar con un glosario de términos técnicos por departamento y/o área, 2) estar abiertos a integrarse a la vida académica (sinodales, ponentes, etc.), 3) aliarse con la industria del Estado, 4) convocar a ferias de empleo enfocadas en sus necesidades, 5) planear proyectos en lapsos de tiempo independientes al cambio de gobierno, 6) conocer sus demandas y fortalezas, 7) tener a las universidades como aliados, 8) actualizar sus formatos o crear una plantilla única para los informes técnicos, 9) invertir en convenios a largo plazo, 10) establecer por dependencia los proyectos prioritarios, 11) trabajar para cambiar la percepción de los ciudadanos y recuperar su confianza, 12) contar con la actualización de su página, 13) tomar el factor del riesgo de la NO acción, 14) contar con una oficina de vinculación dirigida a la academia, 15) identificar a los actores encargados de comunicarse.

Temas prioritarios: 1) ahorro y reúso de agua residual tratada (ART) en la industria, agricultura y ciudades, la calidad del agua que consume la sociedad, así como los sistemas de riego, 2) la calidad del suelo, 3) las zonas naturales protegidas, y 4) la evaluación del nivel técnico de los profesionistas para atender temas hídricos.

#### **4. DICUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Al inicio de esta investigación se planteó al uso del lenguaje científico como elemento clave para disminuir la brecha entre la utilidad de las investigaciones científicas en la toma de decisiones del sector gubernamental; sin embargo, después de haber estudiado las características que forman parte de la ICP, se puede decir que no es uno, sino un conjunto de elementos los que disminuirán o aumentarán las posibilidades de que la información científica sea considerada como insumo de las decisiones de gobierno, ya que la ICP es un proceso social y no sólo una cuestión de soluciones tecnificadas y desintegradas. Sin embargo, también se encuentra que la intervención de un agente externo o intermediario científico puede facilitar aún más la ICP en la gestión del agua en las cuencas, de manera que ayude lograr el intercambio, la co-evolución y la construcción conjunta de conocimiento con bajo un proceso de concertación pluralista.

Como se discutió con base en el caso empírico, el formato que utilizan los científicos para comunicar sus resultados continúa siendo el informe técnico, que según los funcionarios entrevistados, no es comprensible. Desde la perspectiva académica, el informe técnico “sólo se queda allí” y es necesario darle continuidad. Respecto a la incertidumbre, ésta ocurre cuando los cambios administrativos impiden dar continuidad a los proyectos ya acordados, y desde el sector gobierno, se trata de una falta de seguridad de las recomendaciones científicas para validar sus resultados.

Respecto a la utilidad de la ciencia en la gestión del agua de la cuenca, no existe relación entre las necesidades o demandas gubernamentales y lo que los proyectos académicos ofrecen, es decir, que se realizan distintos tipos de investigaciones en la localidad, que si bien pueden exhibir un impacto social o un aporte científico a los problemas de agua, no encuentran un vínculo con lo que las autoridades, dentro de sus competencias, pueden realizar. En este sentido, persiste la percepción de que hay una reducida participación ciudadana por parte de los científicos, y que es una actividad “extra” a sus responsabilidades, lo cual los mantiene al margen del impacto que sus investigaciones pudieran tener y cómo vincularse con el sector gubernamental.

Por lo anterior, la propuesta de acercar a las personas que se desenvuelven en el mundo de la ciencia con las personas que toman decisiones de carácter gubernamental pudiera parecer aventurada, o inclusive improbable, no obstante, si se superan las limitaciones encontradas, esta interfaz ciencia-política puede resultar en relaciones laborales exitosas, políticas públicas justas y finalmente decisiones informadas y ambientalmente responsables, que permitan fomentar el manejo integrado de cuencas.

#### **5. AGRADECIMIENTOS**

Al Cuerpo Académico en Agua y Ambiente de la Universidad Autónoma de Baja California y al Dr. Morgan Meyer del Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) en Francia por la orientación recibida, así como a los actores académicos y gubernamentales entrevistados. También agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca nacional y beca mixta para la realización de esta tesis, así como a la Universidad Autónoma de Baja California por el financiamiento del proyecto “La Interfaz Ciencia-Política: diseño de un mecanismo de comunicación de la ciencia para la gestión integral del agua en Baja California”, como parte de la 18ª. Convocatoria Interna de Proyectos de Investigación.



## 6. LITERATURA CITADA

- Adrianto, D. W., y Sutikno, F. R. (2011). Environmental Decision Making to Support the Sustainable Development Planning. *Journal of Applied Sciences Research*. 7(6),741-747. ISSN 1819-544X
- Atkinson – Grosjean, J.; House D.; Fisher D. (2001).Canadian Science Policy and Public Research Organization in that 20th century. *Science Studies*. Vol 14(1) No.1, 3-25.
- Bultitude K., Rodari P., Weitkamp E. (2012). Bridging the gap between science and policy: the importance of mutual respect, trust and the role of mediators. *Journal Science Communication*. SISSA International School for Advanced Studies.11(3). ISSN 1824 – 2049
- Čada, K., y Ptáčková, K. (2013). Possibilities and limits of collaboration between science and NGOs in the Czech Republic. *Journal of Cleaner Production*, 49, 25-34.DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.07.039.
- Choi, B. C., Pang, T., Lin, V., Puska, P., Sherman, G., Goddard, M. y Clottey, C. (2005). Can scientists and policy makers work together? *Journal of Epidemiology and community health*. 59(8), 632-637. DOI: 10.1136/jech.2004.031765.
- Daesslé, L., M. A. Pérez Flores, J. Serrano Ortiz, L. G. Mendoza Espinosa, E. Manjarrez Masuda, K. Lugo Ibarra y E. Gómez Treviño (2013) A geochemical and 3D-geometry geophysical survey to assess artificial groundwater recharge potential in the Pacific coast of Baja California, Mexico. *Environmental Earth Sciences*.
- Daesslé, L. W., Sánchez, E. C., Camacho-Ibar, V. F., Mendoza-Espinosa, L. G., Carriquiry, J. D., Macías, V. y Castro, P. (2005). Geochemical evolution of groundwater in the Maneadero coastal aquifer during a dry year in Baja California. *Hydrogeology Journal*. (13), 584-595. DOI:10.1007/s10040-004-0353-1.
- Garvin, T. (2001). Analytical paradigms: the epistemological distances between scientists, policy makers, and the public. *Risk Analysis*. 21(3). 443-455.
- González M. L. (1999).La sistematización y el análisis de los datos cualitativos. en Mejía R.A. y Sandoval S.A. *Tras las vetas de la investigación cualitativa, perspectivas y acercamientos desde la práctica*. (265).159.
- Holmes, J., & Clark, R. (2008). Enhancing the use of science in environmental policy-making and regulation. *Environmental Science & Policy*, 11(8), 702-711. DOI:10.1016/j.envsci.2008.08.004
- Jasanoff, S. (1990). *The Fifth Branch: Science Advisers as Policymakers*. Harvard University Press, Cambridge.
- Landry, R., Lamari, M, y Amara, N. (2003). The extent and determinants of the utilization of university research in government agencies. *Public Administration Review*. 63 (2), 192-205.
- Lightowler C. y Knight C. (2013).Sustaining knowledge exchange and research impact in the social sciences and humanities: investing in knowledge broker roles in UK universities. *Evidence and Policy*. 9(3), 317-334. Online ISSN 1744 2656.
- McNie Elizabeth. (2007).Reconciling the supply of scientific information with user demands: an analysis of the problem and review of the literature. *Environmental Science & Policy*. (17-38). DOI:10.1016/j.envsci.2006.10.004.
- Mendoza, L. y Daesslé, W. (2012).Maneadero Aquifer, Ensenada, Baja California, Mexico. *Guidelines for Water Reuse*.E79-81.
- Meyer M. y Kearnes M. (2013).Introduction to special section: Intermediaries between science, policy and the market. *Science and Public Policy*.40 (423-429). DOI:10.1093/scipol/sct051.
- Meyer, M. (2010). The rise of the knowledge broker. *Science Communication*, 32(1), 118-127. DOI : 10.1177/1075547009359797.
- Pielke R.A. (2014).*The Honest Broker Making Sense of Science in Policy and Politics*. Cambridge University Press. Ed. 10.188.21, 22p.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Sánchez M. (2010). La noción de comunicar la ciencia. Introducción de la comunicación escrita de la ciencia. Quehacer científico y tecnológico. México. 205 p: 21-27; 40-44; 109-113.
- Sánchez M. (2010). La noción de comunicar la ciencia. Introducción de la comunicación escrita de la ciencia. Quehacer científico y tecnológico. México. 205p :21-27; 40-44; 109-113.
- Soomai S.S., MacDonald B. Wells P. (2013). Communicating environmental information to the stakeholders in coastal and marine policy-making: Case studies from Nova Scotia and the Gulf of Maine Bay of Fundy region. Marine Policy (40) 176–186.
- van den Hove, S. (2007). A rationale for science policy interfaces. Elsevier.39 (807-826).
- Villada-Canela, M. (2013). El rol de la información la participación pública en la planeación ambiental. Investigación ambiental Ciencia y política pública, 5 (2), Semarnat-INECC, México, pp. 17-26.





Extenso ID: 306. Sandra Giankarla Mercadante Lizárraga y Nicolás Pineda Pablos. EL CONSEJO DE CUENCAS DEL ALTO NOROESTE, UN MODELO DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

[Regresar al índice](#)

### 1. Introducción

El Concepto de "Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)" emergió en el año de 1992 durante la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA) celebrada en Dublin (Alemania).

La Asociación Mundial del Agua en el año 2000, definió la GIRH como un proceso, que promueve el desarrollo coordinado y la gestión del agua, la tierra y los recursos asociados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de vital ecosistemas (PNUD, 2008).

El modelo de GIRH prescribe, en forma implícita, una planeación interna a nivel cuenca hidrológica ó acuífero; uno de los principales retos es asegurar formas aceptables de participación social, multisectorial y multidisciplinaria. Sin embargo, los escenarios de cambio climático imponen nuevos retos a los sistemas socio-ecológicos usuarios del agua, vía cambios externos a la cuenca.

El modelo de GIRH debe de proveer instituciones flexibles que en forma holística y sistémica fomenten el aprendizaje social en el manejo del agua. La flexibilidad y el aprendizaje ante, por ejemplo, eventos climáticos extremos, que se espera aumenten en intensidad y frecuencia, fortalece las capacidades adaptativas de los sistemas socio-ecológicos.

Para atender los problemas de uso y distribución del agua y los conflictos que surgen entre los distintos usuarios, un importante número de naciones han decidido reconocer a las **cuencas hidrológicas** como los territorios más apropiados para medir, administrar, planificar y organizar la gestión eficaz del agua. Además a estos territorios se les reconoce como los espacios físicos que naturalmente facilitan los acuerdos y consensos entre sus habitantes y los gobiernos, en la búsqueda de mejores métodos para manejar el recurso (Comisión Nacional del Agua, 1998).

En 1988 se expide la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), derivado en parte por la presión ejercida por las agencias extranjeras de financiamiento sobre el Gobierno Federal. En esta Ley se establece como obligatoria la participación de la sociedad en la planeación, ejecución, evaluación y vigilancia de la política ambiental y de recursos naturales (Art. 157 de la LGEEPA). En 1992, se expide la Ley de Aguas Nacionales y se establece al Consejo de Cuenca como instancia de coordinación y concertación entre "la Comisión" (Comisión Nacional del Agua), incluyendo el Organismo de Cuenca que corresponda, las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal o municipal y los representantes de los usuarios de la respectiva cuenca hidrológica, con objeto de formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca (Art. 13 de la LAN) (Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua A. C., 2001).

La Ley de Aguas Nacionales de 1992 que cambió el principal propósito de la Ley Federal de Aguas de 1972, al pasar del fomento de la irrigación y del servicio de agua potable, a la administración integral de las aguas nacionales (Sánchez-Mesa 2008).

La institucionalización de los consejos de cuenca es uno de los principales cambios asociados a la gestión integrada de los recursos hídricos (Wilder 2009).

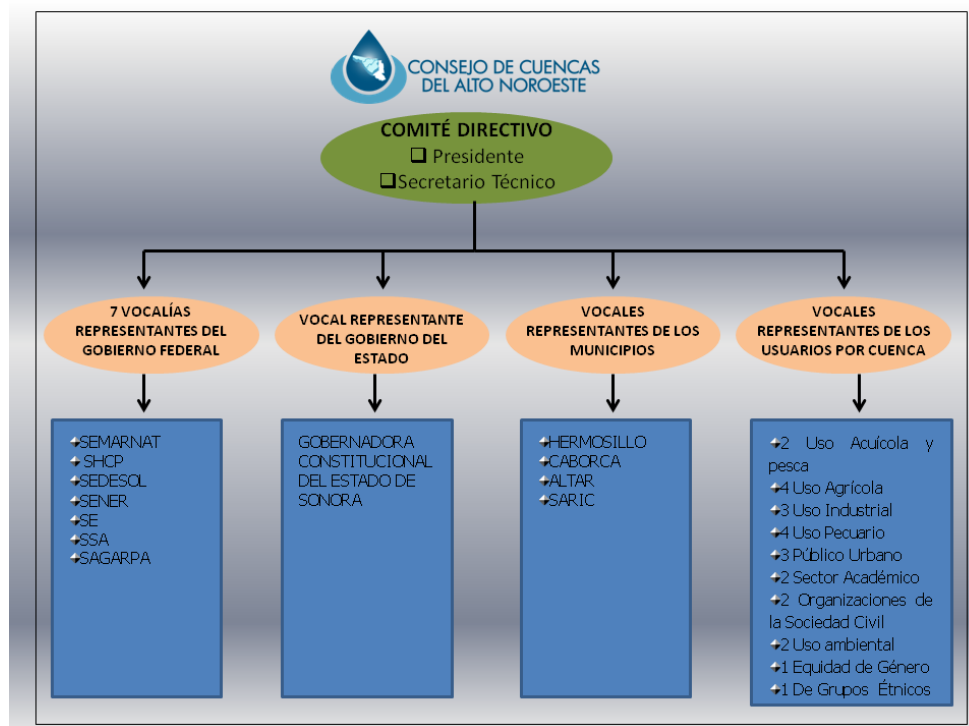


Los consejos de cuenca constituyen así, un foro en el que los diversos usuarios del agua y académicos de múltiples disciplinas comparten los problemas y retos que enfrentan, día a día, los sistemas socio-ecológicos para mantener el esfuerzo social de provisión y apropiación del agua.

Con base a lo anterior, se constituye oficialmente el Consejo de Cuencas del Alto Noroeste, el 19 de Marzo de 1999, tomando en cuenta las características regionales, la magnitud de los problemas relacionados con los recursos hidráulicos y la importancia de las actividades que de ellos dependen para su desarrollo, en la región noroeste del Estado de Sonora, cuyo territorio comprende las cuencas hidrográficas de los ríos Sonoyta, Concepción, Sonora y San Pedro.

Es misión de este Consejo, promover y participar en la Gestión del Agua y Gestión Integrada de los Recursos Hídricos dentro de su ámbito territorial, e impulsar las acciones necesarias para resolver la problemática hídrica con la participación de los Gobiernos Federal, Estatal y Municipal, usuarios y Sociedad Organizada, cumpliendo con lo establecido en la LAN, el Reglamento y las demás disposiciones que emita la Comisión.

Actualmente este Consejo cuenta con un presidente, el cual fue elegido por los mismos integrantes del Consejo, una secretaría técnica, siete vocales representantes del gobierno federal, una vocal representante del Gobierno del Estado de Sonora, cuatro vocales representantes de los municipios y veintidós vocales los usos acuícola, agrícola, pecuario, industrial, Público Urbano, Sector Académico, Organizaciones de la Sociedad Civil, Equidad de Género y Representante de Grupos Étnicos.



Estructura del Consejo de Cuencas del Alto Noroeste. Elaboración propia



## 2. Marco Físico del Consejo

### Localización

Se le ha denominado como Consejo de Cuencas del Alto Noroeste al grupo de cuencas situadas en el centro-Noroeste del Estado de Sonora que tienen la característica de ser cuencas abiertas que descargan sus aguas al Golfo de California.



### Mesolocalización



### Macrolocalización



Fuente

Localización.  
(CONAGUA)



Se encuentra dentro de la Región Hidrológica-Administrativa del Organismo de Cuenca II Noroeste. Está conformado por 4 grandes cuencas que son: Cuenca Río Sonoyta, Cuenca Río Concepción, Cuenca Río Sonora y Cuenca Río San Pedro que en conjunto conforman una superficie de 101,238 km<sup>2</sup>. Se encuentran ubicadas al noroeste del Estado de Sonora, colindando al norte con Estados Unidos, al oeste con el Golfo de California (Mar de Cortez), al sur con la Cuenca Río Mátape y al este con la Cuenca Río Yaqui. Toda su extensión está contenida dentro del Estado de Sonora y abarca los siguientes 32 municipios:

<b>RIO SONOYTA</b>	<b>RIO SONORA</b>
<b>Gral. Plutarco Elías Calles (Sonoyta)</b>	Aconchi
<b>Puerto Peñasco</b>	Arizpe
<b>San Luis Río Colorado</b>	Bacoachi
<b>RIO ASUNCION</b>	Banámichi
<b>Altar</b>	Baviácora
<b>Átil</b>	Carbó
<b>Benjamín Hill</b>	Cucurpe
<b>Caborca</b>	Hermosillo
<b>Imuris</b>	Huépac
<b>Magdalena</b>	Opodepe
<b>Nogales</b>	Rayón
<b>Oquitoa</b>	San Felipe de Jesús
<b>Pitiquito</b>	San Miguel de Horcasitas
<b>Santa Ana</b>	Ures
<b>Sáric</b>	<b>RIO SAN PEDRO</b>
<b>Trincheras</b>	Cananea
<b>Tubutama</b>	Santa Cruz

Cuadro No. 1. Municipios del Consejo de Cuenca Alto Noroeste





Cuencas del Alto Noroeste. Fuente (CNA).

La red carretera cubre todo los rincones del área, desde carreteras Federales como carretera federal No. 15, o carretera internacional México - Nogales que recorre gran parte de México, desde la frontera con los Estados Unidos hasta la Ciudad de México, siendo de las más importantes del país y la carreteara federal No. 2 ubicada hacia el Norte que atraviesa por todas la cuencas y Estatales que pasan por los principales poblados urbanos y hasta las localidades rurales más alejadas y de difícil acceso.

También se cuenta con una vía férrea que pasa a lo largo de los principales poblados y minas de la zona principalmente así como puertos pesqueros y turísticos.

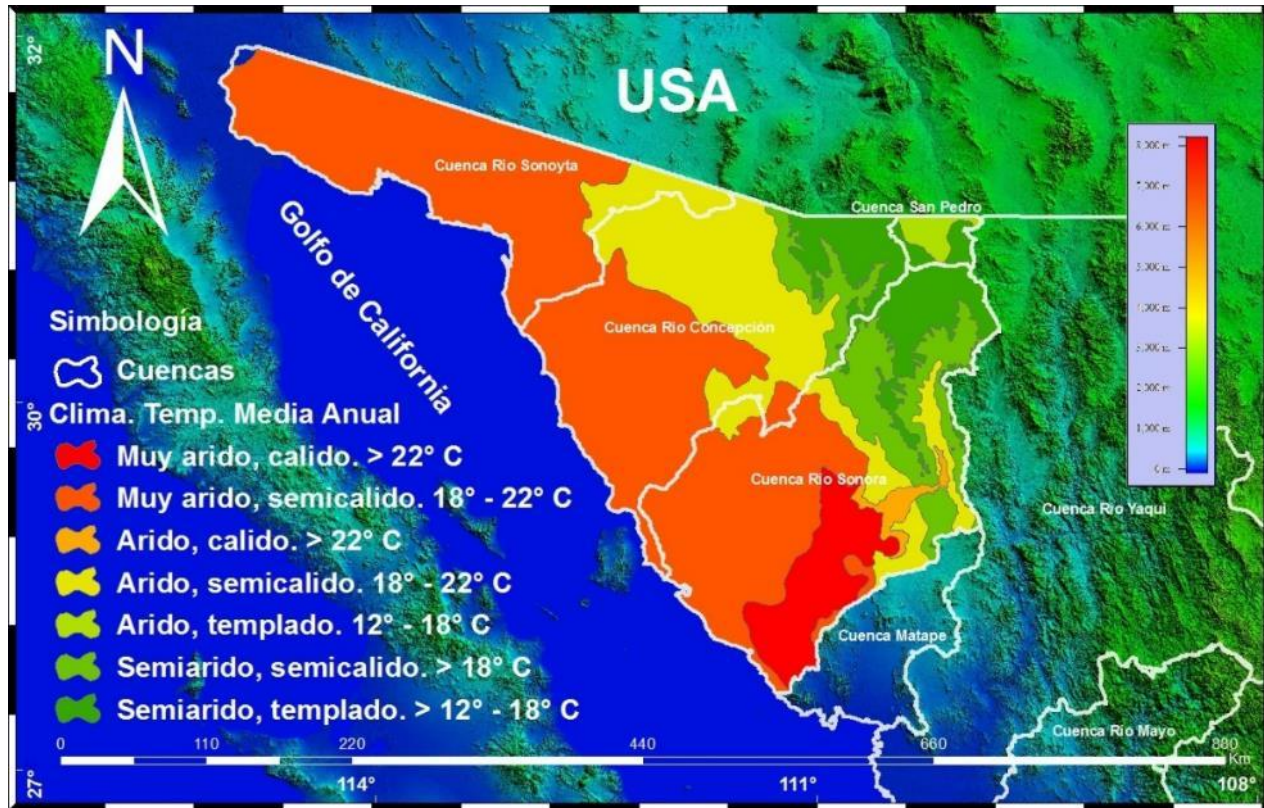
#### Aspectos Físico Naturales

##### *Clima*

El estado de Sonora se localiza dentro de la faja subtropical de alta presión, donde se originan las calmas tropicales, que consisten en vientos descendentes frescos y secos los cuales no producen condensación en su seno. Como consecuencia de lo anterior, es aquí donde se localiza la zona más árida del país: el Desierto de Altar. Por su parte, la influencia altitudinal de la Sierra Madre Occidental, ubicada en el oriente de la entidad, se manifiesta en las temperaturas menos extremosas y en las lluvias más abundantes con respecto a las de las zonas muy secas, secas y semisecas.

El clima de la región está influenciado por su ubicación latitudinal, que forma parte de un cinturón de zonas áridas, en el que prevalece un sistema de alta presión, originado por la confluencia de masas de aire frío y tropical, lo que provoca cielos despejados, amplia exposición solar e incremento de temperaturas.

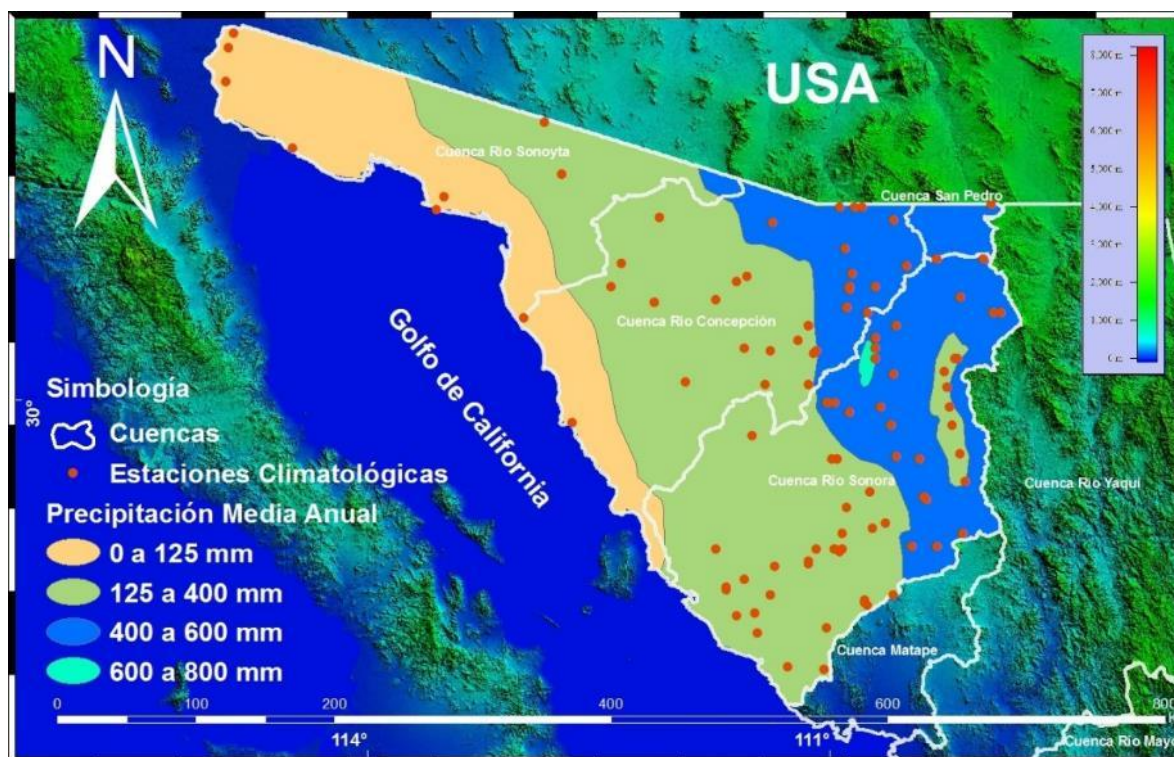




*Clima en las Cuencas del Alto Noroeste.*

*Fuente* García, E. - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998). 'Climas' (clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México.

La Cuenca Río Sonoyta presenta en su región Oeste hacia el Golfo de California su precipitación más baja de 0 a 125mm, en su zona central y parte del este una precipitación de 125 a 400mm y en una pequeña parte hacia el Este colindando con la Cuenca Río Concepción, una precipitación de 400 a 600mm. Su promedio Anual es de 143.1mm y cuenta con 10 estaciones climatológicas. La Cuenca Río Concepción presenta en su región Oeste hacia el Golfo de California su precipitación más baja de 0 a 125mm en su zona central una precipitación de 125 a 400mm y hacia el Este, colindando con la Cuenca Río San Pedro y Sonora una precipitación de 400 a 600mm. Su promedio anual es de 384mm y cuenta con 34 estaciones climatológicas. La Cuenca Río Sonora presenta en su región Oeste, en una región muy pequeña que colinda con la Cuenca Río Concepción su precipitación más baja es de 0 a 125mm y en casi en su totalidad hacia el Golfo de California una precipitación y parte de la zona central de 125 a 400mm y hacia el Este, presenta en su mayor superficie una precipitación de 400 a 600 y en zonas de menor tamaño de 125 a 400mm y de 600 a 800mm Sonora una precipitación de 400 a 600mm. Su promedio anual en la zona Sonora-Alta es de 458.7 en la zona San Miguel de 505.5mm en la zona el Zanjón 362 mm dando como resultado en toda su extensión promedio de 384mm y cuenta con 73 estaciones climatológicas. La Cuenca Río San Pedro presenta una precipitación de 400 a 600mm. Su promedio anual es de 448.9mm y cuenta con una estación climatológica.



#### *Precipitación media anual.*

Fuente Vidal-Zepeda, R. (1990), 'Precipitación media anual' en Precipitación, IV.4.6. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1 :4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México, y al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (1996). 'Estaciones climatológicas'. Extraído de ERIC (Extractor rápido de información climatológica). México.

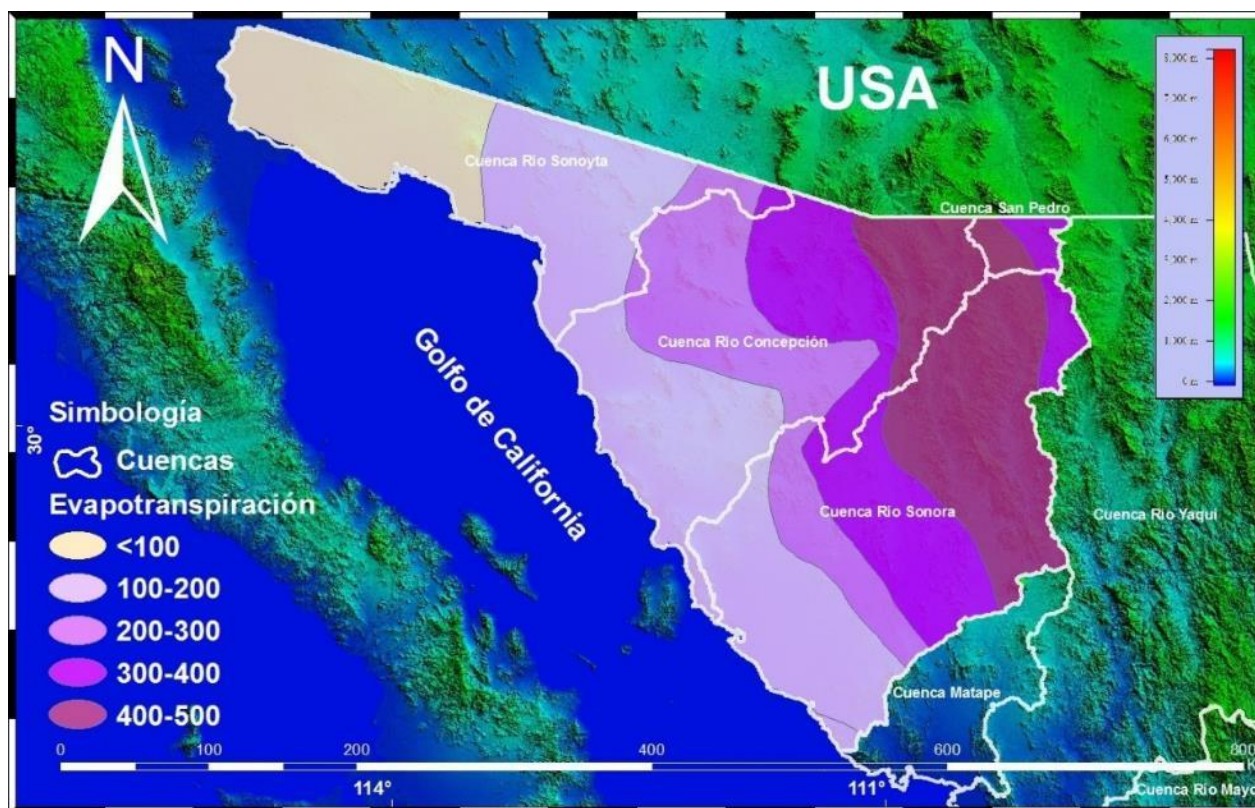
La Cuenca Río Sonoyta presenta en su región Oeste hacia el Golfo de California y en su zona central la evapotranspiración más baja de las Cuencas del alto noroeste de 0 a 100mm. En su zona central y parte del Este una evapotranspiración de 100 a 300mm y en una pequeña parte hacia el Este colindando con la Cuenca Río Concepción una evapotranspiración de 300 a 400mm.

La Cuenca Río Concepción presenta en su región Oeste hacia el Golfo de California una evapotranspiración 100 a 200mm. En su zona central una evapotranspiración de 200 a 400mm y el Este colindando con la Cuenca Río Sonora y San Pedro una evapotranspiración de 400 a 500mm.

La Cuenca Río Sonora presenta en su región Oeste hacia el Golfo de California una evapotranspiración 100 a 200mm. En su zona central una evapotranspiración de 200 a 400mm y en su mayor parte del Este de 400 a 500mm y en una pequeña parte colindando con la Cuenca Río Yaqui una evapotranspiración de 300 a 400mm.

La Cuenca Río San Pedro presenta en su región Oeste hacia la Cuenca Río Concepción una evapotranspiración 400 a 500mm y el hacia el Este colindando con la Cuenca Río Yaqui una evapotranspiración de 300 a 400mm.





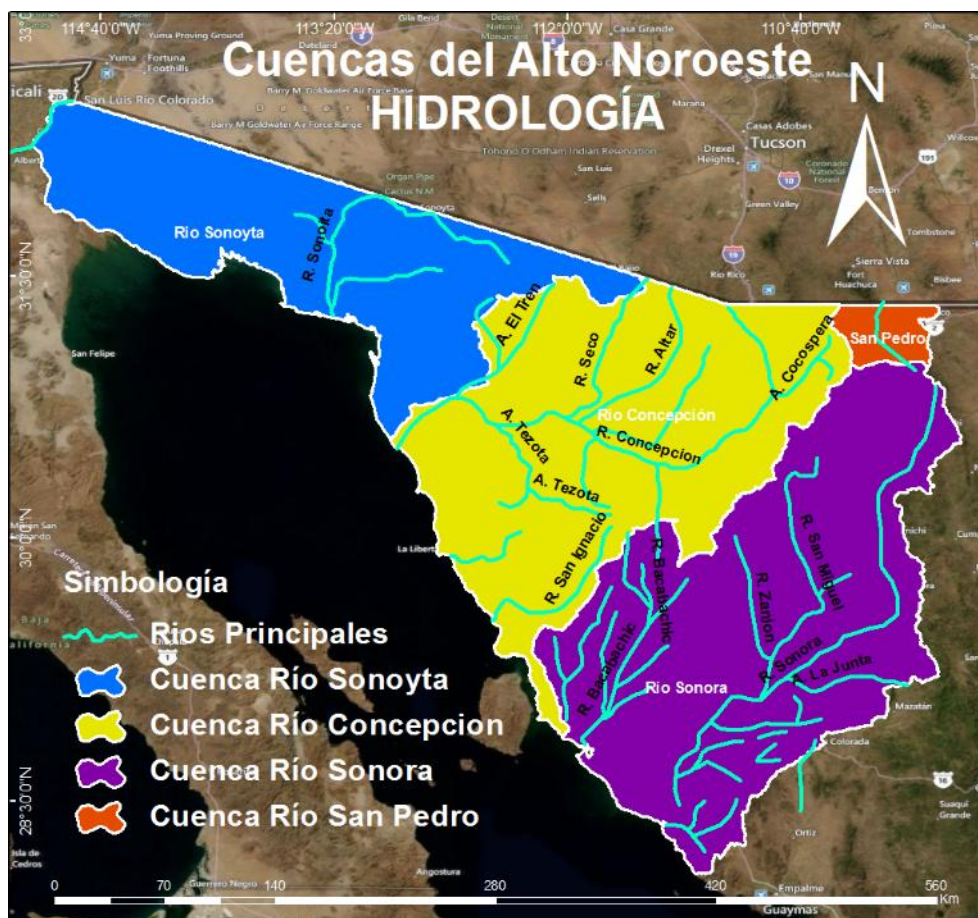
*Evapotranspiración.*

*Fuente* Maderey Laura E., (1990). 'Evapotranspiración real' en Hidrogeografía IV.6.6. Atlas Nacional de México. Vol. II Escala 1 4000000. Instituto de Geografía UNAM. México.

### 3. Descripción

Situación de los recursos en el ámbito del Consejo

La escasez del agua superficial en la región fronteriza del estado de Sonora ha propiciado la explotación de los mantos acuíferos, a fin de proveer de agua subterránea principalmente a las actividades agrícolas. En esta región, se consideran 22 zonas geohidrológicas cubriendo aproximadamente una superficie total de estudio de 28,342 km<sup>2</sup>. Las extracciones de agua son del orden de los 1,097 millones de m<sup>3</sup> anuales, con una recarga de 825 millones de m<sup>3</sup>/año. Se cuenta con una disponibilidad relativa de 75.1 millones de m<sup>3</sup> anuales en los acuíferos subexplotados; sin embargo, se extraen cerca de 350 Mm<sup>3</sup>/año del almacenamiento no renovable, principalmente del acuífero de Caborca.



Fuente: INEGI, CNA.

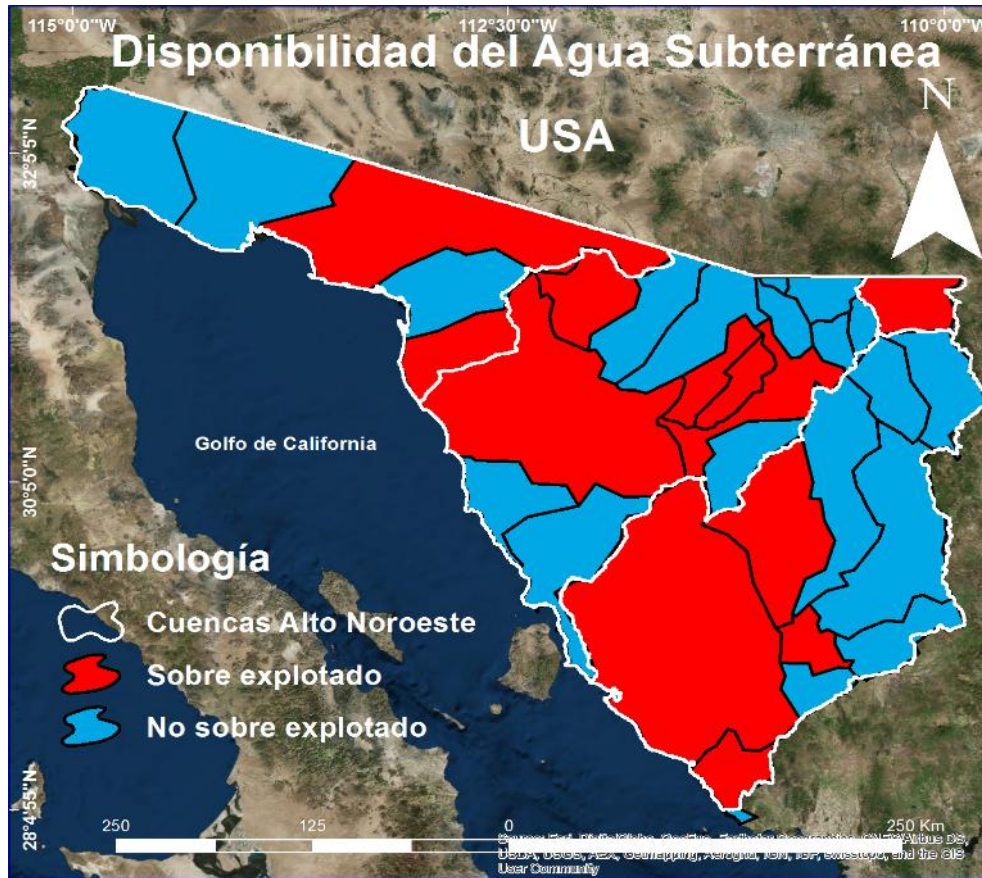
La presencia y ubicación de los acuíferos actuales es consecuencia de diversos fenómenos, de los cuales el factor estructural es de capital importancia, puesto que su ocurrencia permite o impide la existencia de estos. Los principales embalses subterráneos de la región se generaron a raíz de la tectónica distensiva del Mioceno medio. Se clasifican en libre confinado o semiconfinado, dependiendo del material granular que los constituyen. La infiltración que ocurre a través de algunas fracturas y cavidades de las rocas ubicadas en la franja oriental de Sonora, se traduce en un manantialismo que es consecuencia del contacto de estas estructuras con la roca impermeable.

### Agua Subterránea

La escasez del agua superficial en la Región ha propiciado la explotación de *Agua subterránea*, a fin de proveer principalmente a las actividades agrícolas. Los acuíferos de mayor importancia por sus grandes volúmenes de extracción en la región comprendida por el Consejo de Cuencas del Alto Noroeste son los que se ubican en las zonas geohidrológicas de Caborca, Costa de Hermosillo y Río Sonora.

De los 30 acuíferos, 11 se encuentran en estado de sobreexplotación y 19 con disponibilidad, sin embargo aunque el número de acuíferos con disponibilidad sean mayor la superficie comprendida por los acuíferos sobreexplotados es del 54.76% debido al gran tamaño de estos.



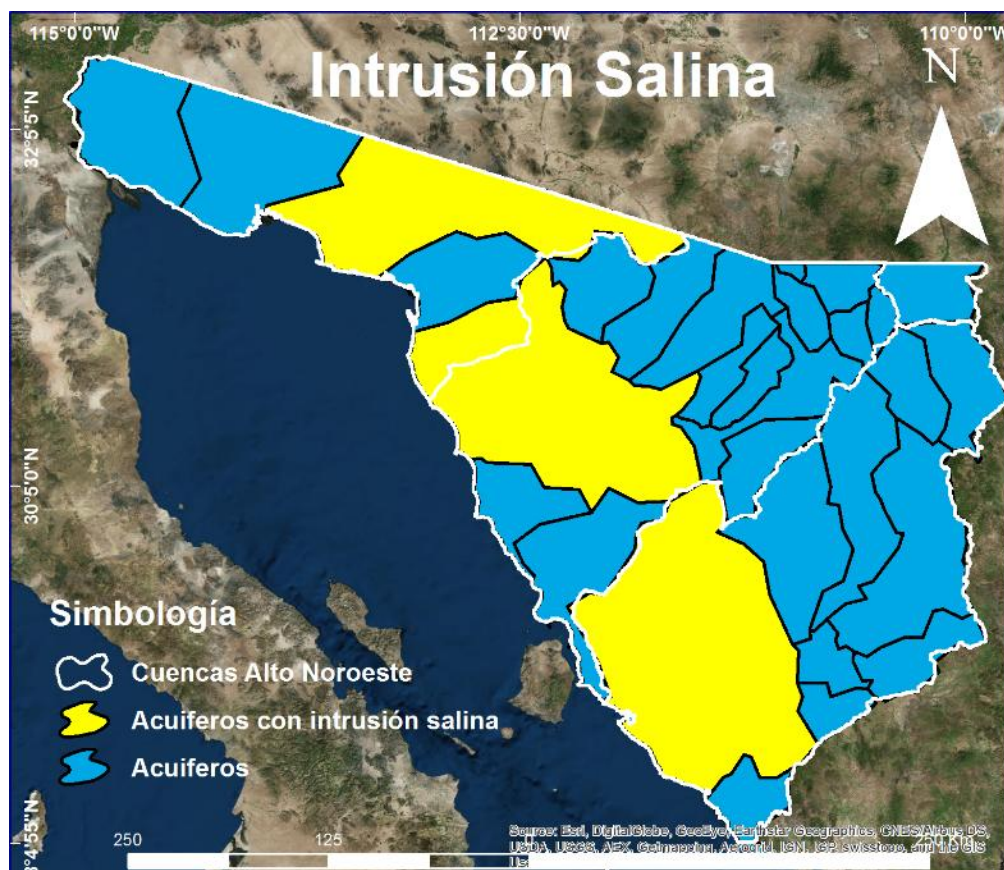


Fuente: CONAGUA. Disponibilidad del Agua Subterránea; Estado: Sonora. Disponible en la web: <http://www.conagua.gob.mx/disponibilidad.aspx?n1=3&n2=62&n3=94>

#### Acuíferos con intrusión salina

La presión de las extracciones de agua por bombeo en los acuíferos costeros han afectado el equilibrio natural entre el agua subterránea dulce y el agua salada de origen marino permitiendo que haya un movimiento de agua salada tierra adentro, desplazando al agua dulce. Esta intrusión provoca el aumento de la salinidad en las aguas subterráneas con la consiguiente contaminación del acuífero costero. Podemos ver este fenómeno en acuíferos donde hay grandes extensiones de actividad agrícola, en la región del Alto Noroeste hay 3 acuíferos que presenta este problema estos son el Sonoyta-Peñasco, Caborca y Costa de Hermosillo.





Fuente: CONAGUA

### Zonas de Veda

Con el fin de revertir la sobreexplotación de los acuíferos y cuencas del país, el Gobierno federal ha emitido vedas que prohíben o restringen las extracciones de agua en diversas zonas. En el artículo 11 del Reglamento de la LAN de fecha 29 de diciembre de 1956, en materias de aguas del subsuelo publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de febrero de 1958, se establecen 3 clases de veda:

Zonas de veda en las que no es posible aumentar las extracciones sin peligro de abatir peligrosamente o agotar los mantos acuíferos.

Zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos solo permite extracciones para usos domésticos.

Zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

La región del Consejo de cuencas del Alto Noroeste se encuentra vedada en su totalidad, encontrándose los 3 tipos de veda, predominando la *Veda tipo II*.



Fuente: CONAGUA

### Aspectos Sociales

La población asentada en 32 municipios del Estado de Sonora es de 2,662,480 habitantes, lo que equivale a una densidad promedio de 15 habitantes/ Km<sup>2</sup>, cuya distribución por cuenca se muestra en la siguiente tabla:

Subregión	Conteo 2005	Conteo 2010
Río Sonoyta	214 367	251,374
Río Concepción	345 904	392,665
Río Sonora	771 149	829,703
Río San Pedro	5,608	30,869
<b>Total</b>	<b>1, 337, 028</b>	<b>1, 504,611</b>

Población por subregión de planeación Fuente: INEGI. Censo de población y vivienda 2010.

### Identificación de Centros de Actividad Económica

#### Agricultura, Ganadería y Pesca

La agricultura es la actividad de mayor importancia en el estado, lo cual es reconocido a nivel nacional por su aportación significativa al producto interno bruto nacional (PNB), razón por la cual le han llamado el granero nacional. Los lugares más destacados de la región en la actividad agrícola son: La costa de Hermosillo, Costa de Caborca y el Valle de San Luis Río Colorado, los cuales cuentan con una infraestructura hidráulica

suficiente que les permite cosechar grandes volúmenes de productos agrícolas.

La actividad ganadera de la región continúa con su prestigio nacional de ser de los principales estados ganaderos del país por la magnífica calidad de su ganado y su cobertura de la demanda nacional de los productos ganaderos así como la importante contribución a las exportaciones nacionales de ganado.

La actividad pesquera continua significando para la región una gran fuente de recursos económicos, debido a que el estado de Sonora es de los principales estados de la República mexicana que cuentan con una infraestructura para la pesca y es de los estados que más recursos pesqueros aportan al mercado nacional y a la exportación de estas especies ya que exporta a los Estados Unidos grandes volúmenes de camarón y otras especies.

#### Minería

La minería en el estado muestra un acentuado dinamismo y esto es gracias al mejoramiento de las técnicas así como el ligero incremento de los precios de los minerales en el mercado internacional.

#### Comercio

La región cuenta con una amplia y moderna infraestructura comercial en las principales ciudades, como los mercados, centros comerciales de autoservicio, almacenes de distribución, agencias automotrices y de maquinaria agrícola, tiendas comerciales y pequeños comercios. En los municipios y comunidades más alejados de las ciudades el comercio se reduce a tiendas de abarrotes, farmacias, papelerías, panaderías, tortillerías y carnicerías entre otros.

#### Industria

La actividad industrial en la región está básicamente enfocada al proceso de empaque e industrialización de productos agrícolas y agropecuarios así como a la elaboración de insumos para la agricultura, ganadería y pesca. La Región ha tenido un importante crecimiento la industria maquiladora y en la capital del estado como se puede notar en la siguiente tabla en el sector secundario.

#### Turismo

El estado de Sonora cuenta con una considerable cantidad de litorales en donde se encuentran playas con una extraordinaria belleza natural como son: las, las playas de Puerto Peñasco, las playas de Bahía de Kino, las del Golfo de Santa Clara en San Luis Río Colorado, donde existe una amplia y moderna infraestructura hotelera que cubre la demanda del turismo tanto nacional como internacional. Existen además otros lugares turísticos como el parque nacional del pinacate y bosques naturales en la sierra de Sonora.

SECTOR	UNIDADES ECONÓMICAS	NÚMERO PERSONAS	PROD. BRUTA TOTAL (MDP)	%
PRIMARIO	293	9955	8,426,950	4.6
SECUNDARIO	5884	122584	121,736,288	66.7
TERCIARIO	39665	210641	50,217,664	27.5
CUATERNARIO	1480	8848	2,029,055	1.1
TOTAL	47,832	351,785	182,391,188	

Sectores económicos de la Región Alto Noroeste Fuente: INEGI censo económico 2009.

#### Problemática Hídrica de la Región

La superficie del Consejo de Cuencas del Alto Noroeste se encuentra casi en su totalidad en la región del Desierto Sonorense, el cual se caracteriza por cambios climáticos extremos, con valores altos de temperatura y evaporación y bajos en precipitación, escurrimiento e infiltración, así como un índice bajo de cobertura vegetal.

La escasez de agua superficial en esta región provoca que el recurso subterráneo sea la principal fuente de suministro. En la actualidad, debido a un manejo no sustentable, los acuíferos ubicados a lo largo de la costa se encuentran en estado de sobreexplotación y con problemas de intrusión salina.

Del balance entre descarga y recarga se concluye que 11 acuíferos presentan déficit de agua, siendo los más afectados los de Caborca, Costa de Hermosillo y Río Sonora.

Se ha determinado que los contaminantes principales del agua subterránea son desechos industriales, agrícolas, mineros e intrusión salina. Entre los contaminantes detectados se encuentra arsénico, bario, manganeso, compuestos nitrogenados, plaguicidas y sales.

Aunado se presentan problemas de contaminación de cauces y cuerpos de agua, por la falta de cobertura de agua potable, alcantarillado y saneamiento, y por los riesgos de centros de población y zonas productivas ante los eventos de fenómenos naturales extremos y desórdenes asociados al cambio climático.

Los principales retos para llegar a la sustentabilidad de las cuencas de este Consejo, se engloban en 7 problemas, siendo estos los siguientes:

Sociedad con falta de información y sensibilización en cultura del agua.

Sobreexplotación del Agua Superficial y Subterránea.

Disponibilidad insuficiente de agua potable.

Contaminación de los cauces, cuerpos de agua y acuíferos.

Deforestación y Desertificación

Fenómenos naturales extremos y desórdenes asociados al cambio climático.

Ineficiente aplicación de tecnología para el uso eficiente y generación de alternativas para abastecimiento de agua.

#### 4. Organigrama

En términos del artículo 13 BIS 1 de la LAN, el Consejo contará al menos con los siguientes órganos funcionales:

- a) Asamblea General de Usuarios
- b) Comisión de Operación y Vigilancia
- c) Comité Directivo
- d) Gerencia Operativa

La Asamblea General de Usuarios estará integrada por todos los representantes titulares o suplentes de los diferentes usos y de las organizaciones de la Sociedad Organizada y Sector Académico que hayan sido electos por sus respectivos Comités de Usuarios, de la Sociedad Organizada y el Sector Académico, los cuales participarán con voz y voto. Esta sesiona ordinariamente cuando menos una vez al año y de manera extraordinaria las veces que sea convocada por su Presidente o su Secretario de Actas.

A la Comisión de Operación y Vigilancia (COVI) le corresponde, en su carácter de órgano funcional:





Implementar, dar seguimiento y evaluar periódicamente las acciones y acuerdos que tome el Consejo,

Reunir la información y realizar los análisis que permitan la eficaz toma de decisiones,

Aprobar la creación o extinción de los órganos auxiliares del Consejo y de los GET,

Participar en los estudios sobre disponibilidades de aguas superficiales o subterráneas y en los estudios técnicos que cita la LAN, y las demás funciones que se le encomienden por acuerdo de los integrantes del Consejo,

Solicitar a la Secretaría Técnica, a Reunión Extraordinaria en caso de emergencia hidrometeorológica.

La COVI asume las funciones y actividades que se hubiesen conferido al Grupo de Seguimiento y Evaluación al cual sustituye; y las señaladas en la LAN para el Grupo Técnico de Trabajo Mixto y Colegiado.

El Comité Directivo se integra por el Presidente y el Secretario Técnico del Consejo.

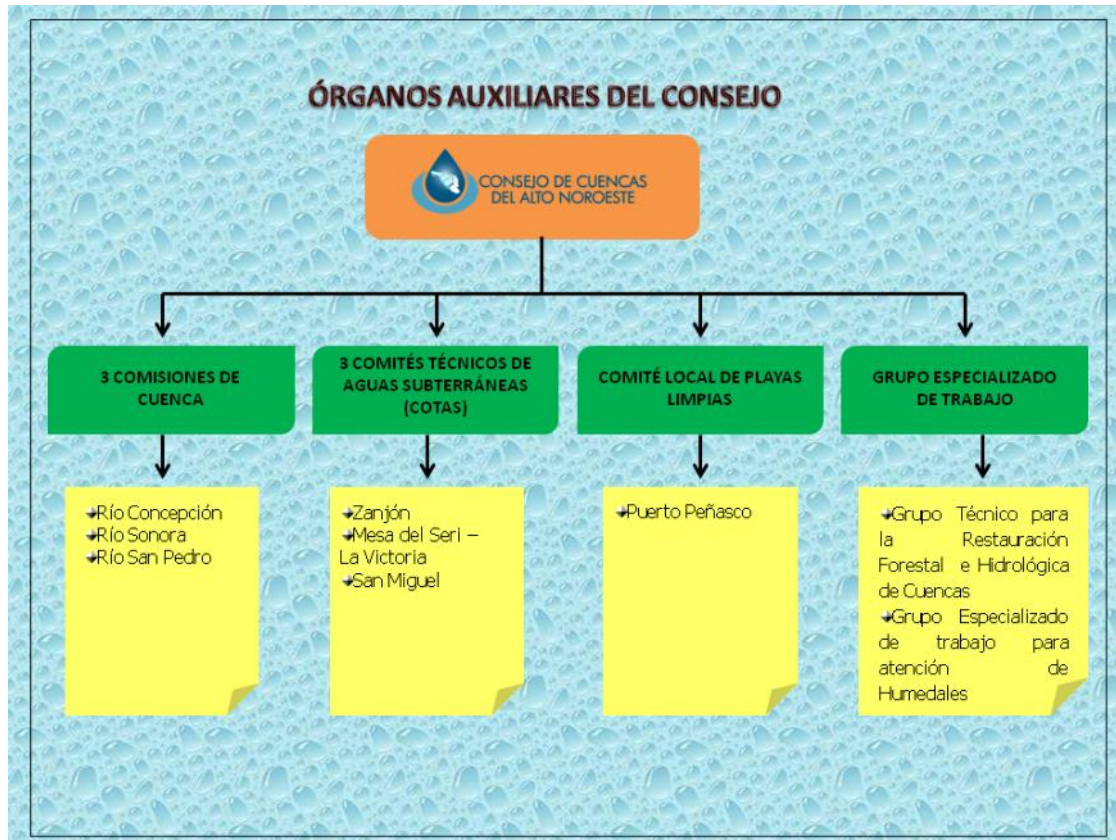
La Gerencia Operativa es un órgano funcional del Consejo de Cuenca, que conforme a la LAN tiene funciones internas de carácter técnico, administrativo y jurídico, y depende del Consejo a través de la COVI.

Por analogía y como parte del Consejo de Cuenca, los órganos auxiliares podrán contar con sus propias Gerencias Operativas quienes tendrán una relación de Coordinación Directa con la Gerencia Operativa del Consejo para facilitar su desarrollo y consolidación.

Estas Gerencias Operativas dependerán directamente de su correspondiente órgano auxiliar y tendrán el mismo carácter técnico, administrativo y jurídico que la Gerencia Operativa del Consejo de Cuenca (Consejo de Cuencas del Alto Noroeste, 2013).

Para atender áreas más específicas se crean los Órganos auxiliares al Consejo de Cuencas. El Alto Noroeste cuenta con 9 órganos auxiliares, de los cuales 5 cuentan con Gerencia Operativa.





Órganos Auxiliares del Consejo de Cuencas del Alto Noroeste. Elaboración propia

## 5. Funcionamiento

Las reglas generales de integración, organización y funcionamiento del Consejo de Cuencas del Alto Noroeste, enuncian que tiene las siguientes funciones:

- I. Contribuir a la gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca o cuencas hidrológicas respectivas, contribuir a reestablecer o mantener el equilibrio entre disponibilidad y aprovechamiento de los recursos hídricos, considerando los diversos usos y usuarios, y favorecer el desarrollo sustentable en relación con el agua y su gestión;
- II. Concertar las prioridades de uso del agua con sus miembros y con el Organismo de Cuenca que corresponda conforme a lo dispuesto en el Párrafo Tercero del Artículo 22 de la presente Ley. En todos los casos tendrá prioridad el uso doméstico y el público urbano;
- III. Conocer y difundir los lineamientos generales de política hídrica nacional, regional y por cuenca, y proponer aquellos que reflejen la realidad del desarrollo hídrico a corto, mediano y largo plazos, en el ámbito territorial que corresponda al Consejo de Cuenca;
- IV. Participar en la definición de los objetivos generales y los criterios para la formulación de los programas de gestión del agua de la cuenca en armonía con los criterios generales de la programación hídrica nacional;
- V. Promover la participación de las autoridades estatales y municipales y asegurar la instrumentación de los mecanismos de participación de los usuarios de la cuenca y las organizaciones de la sociedad, en la formulación, aprobación, seguimiento, actualización y evaluación de la programación hídrica de la cuenca o

cuencas de que se trate en los términos de ley;

VI. Desarrollar, revisar, conseguir los consensos necesarios y proponer a sus miembros, con la intervención del Organismo de Cuenca competente conforme a sus atribuciones, el proyecto de Programa Hídrico de la Cuenca, que contenga las prioridades de inversión y subprogramas específicos para subcuencas, microcuencas, acuíferos y ecosistemas vitales comprendidos en su ámbito territorial, para su aprobación, en su caso, por la Autoridad competente y fomentar su instrumentación, seguimiento, evaluación de resultados y retroalimentación;

VII. Promover la coordinación y complementación de las inversiones en materia hídrica que efectúe el Gobierno del Estado, y municipios en el ámbito territorial de las subcuencas y acuíferos, y apoyar las gestiones necesarias para lograr la concurrencia de los recursos para la ejecución de las acciones previstas en la programación hídrica;

VIII. Participar en el análisis de los estudios técnicos relativos a la disponibilidad y usos del agua; el mejoramiento y conservación de su calidad; su conservación y la de los ecosistemas vitales vinculados con ésta; y la adopción de los criterios para seleccionar los proyectos y obras hidráulicas que se lleven a cabo en la cuenca o cuencas hidrológicas;

IX. Coadyuvar al desarrollo de la infraestructura hidráulica y los servicios de agua para uso doméstico, público urbano y agrícola, incluyendo el servicio ambiental;

X. Contribuir al saneamiento de las cuencas, subcuencas, microcuencas, acuíferos y cuerpos receptores de aguas residuales para prevenir, detener o corregir su contaminación;

XI. Contribuir a la valoración económica, ambiental y social del agua;

XII. Colaborar con el Organismo de Cuenca en la instrumentación eficiente del Sistema Financiero del Agua en su ámbito territorial, con base en las disposiciones establecidas por la Autoridad en la materia;

XIII. Apoyar los programas de usuario del agua - pagador, y de contaminador - pagador; impulsar las acciones derivadas del establecimiento de zonas reglamentadas, de zonas de veda y de zonas de reserva; y fomentar la reparación del daño ambiental en materia de recursos hídricos y de ecosistemas vitales en riesgo;

XIV. Apoyar el financiamiento de la gestión regional del agua y la preservación de los recursos de la cuenca, incluyendo ecosistemas vitales;

XV. Coadyuvar en el desarrollo de los estudios financieros que lleven a cabo los Organismos de Cuenca, para proponer los montos de las contribuciones de los usuarios en apoyo al financiamiento de los programas de los órganos referidos para la gestión regional del agua y la conservación de los recursos hídricos y de ecosistemas vitales; para lo anterior se estará a lo dispuesto por la Autoridad en la materia;

XVI. Conocer oportuna y fidedignamente la información y documentación referente a la disponibilidad en cantidad y calidad, los usos del agua y los derechos registrados, así como los tópicos y parámetros de mayor relevancia en materia de recursos hídricos y su gestión, con apoyo en el Organismo de Cuenca respectivo y sus sistemas integrados de monitoreo e información; difundir ampliamente entre sus miembros y la sociedad de la cuenca o cuencas que corresponda, la información y documentación referida, enriquecida con las orientaciones y determinaciones a las que arribe dicho Consejo de Cuenca;

XVII. Impulsar el uso eficiente y sustentable del agua, y en forma específica, impulsar el reúso y la recirculación de las aguas;

XVIII. Participar en el mejoramiento de la cultura del agua como recurso vital y escaso, con valor económico, social y ambiental;

XIX. Colaborar con la Autoridad en la materia para la prevención, conciliación, arbitraje, mitigación y

solución de conflictos en materia de agua y su gestión;

XX. Integrar comisiones de trabajo para plantear soluciones y recomendaciones sobre asuntos específicos de administración de las aguas, desarrollo de infraestructura hidráulica y servicios respectivos, uso racional del agua, preservación de su calidad y protección de ecosistemas vitales;

XXI. Auxiliar a "la Comisión" en la vigilancia de los aprovechamientos de aguas superficiales y subterráneas, mediante la definición de los procedimientos para la intervención de los usuarios y sus organizaciones, en el marco de la presente Ley y sus reglamentos;

XXII. Conocer los acreditamientos que otorgue "la Comisión" en el ámbito federal a organizaciones de usuarios constituidas para la explotación, uso y aprovechamiento del agua, y reconocer cuando proceda a dichas organizaciones como órganos auxiliares del Consejo de Cuenca;

XXIII. Promover, con el concurso del Organismo de Cuenca competente, el establecimiento de comisiones y comités de cuenca y comités técnicos de aguas del subsuelo; conseguir los consensos y apoyos necesarios para instrumentar las bases de organización y funcionamiento de estas organizaciones y reconocerlas como órganos auxiliares del Consejo de Cuenca cuando sea procedente;

XXIV. Participar o intervenir en los demás casos previstos en la Ley y en sus correspondientes reglamentos, y

XXV. Otras tareas que le confiera su Asamblea General, con apego a las disposiciones de la LAN y sus reglamentos.

## 6. Discusión

Retos...¿Cómo el Consejo ha fomentado la gestión participativa dentro de sus órganos?

Retos del cambio climático ¿Cómo el Consejo favorece/promueve políticas flexibles,

Aprendizaje social, que aumenten las capacidades adaptativas de los sistemas socio-ecológicos

Usuarios del recurso?

## 7. Conclusiones

El principal reto del Consejo es el conseguir los recursos financieros necesarios para extender la estructura orgánica a nivel local. Con la creación de comités, consejos y demás órganos auxiliares, se establece un foro de participación social para la toma de decisiones en materia de agua.

Por otra parte, se debe de avanzar en el empoderamiento de los usuarios. Usuarios no empoderados es igual a baja participación. Por empoderamiento se entiende la percepción que tiene un usuario de que su opinión y voz es tomada en cuenta, más aun, que modifica la toma de decisiones. Idealmente, este empoderamiento debería de darse por ley, no obstante, hoy en día deben de explorarse formas alternas de empoderar a los usuarios, como por ejemplo: las redes sociales.

Los escenarios de cambio climático prometen exacerbar la competencia por acceso al agua; esto sin duda aumentara la frecuencia de conflictos sociales relacionados con el acceso a este recurso tan importante. Se debe de empezar invertir desde ya en la construcción del capital social que potencialmente pueden generar los órganos de los consejos. Este capital social, sin duda, aumentará las capacidades adaptativas de la sociedad en su conjunto para gestionar el agua.



## 8. Bibliografía

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2008). Performance and Capacity of River Basin Organizations Cross-case: Comparison of Four RBOs.
- Dourojeanni, A. (2004). Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas ¿por qué no lo podemos hacer?. Cotler, Helena (Comp). El manejo integral de cuencas en México, Secretaría de medio ambiente y recursos naturales-Instituto Nacional de Ecología.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley de Aguas Nacionales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992, Última reforma publicada DOF 11-08-2014. México, 2014.
- Dourojeanni, A. (1994), Políticas públicas para el desarrollo sustentable: la gestión integrada de cuencas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Territorial y Ambiental (CIDIAT).
- Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua A. C. (2001). Los Consejos de Cuenca en México.
- Consejo de Cuecas del Alto Noroeste (2013). Reglas generales de integración, organización y funcionamiento del Consejo de Cuencas del Alto Noroeste.
- Consejo de Cuecas del Alto Noroeste (2014). Programa de gestión integral hídrico del Consejo de Cuecas del Alto Noroeste: Para las Cuencas de los Ríos Sonoyta, Concepción, Sonora y Santa Cruz-San Pedro.
- GWP-TEC (Global Water Partnership - Technical Advisory Committee) 2000. Integrated Water Resources Management. TAC Background Papers No. 4. (GWP, Stockholm, Sweden).
- Sanchez-Meza, J.J. 2008. El Mito de la Gestión Descentralizada del Agua en México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Jurídicas, Serie Estudios Jurídicos, Num. 134.
- Wilder, M. (2009). Political and economic apertures and the shifting state-citizen relationship: reforming Mexico's national water policy. In: Water Policy Entrepreneurs: A Research Companion to Water Transitions Around the Globe. Edited by Sander Meijerink. Edward Elgar Publishing.
- Archer, S. Schimel, D.S. and Holland, E.A. (1995) Mechanisms of shrubland expansion: land use, climate or CO<sub>2</sub>? Climatic Change, 29:91-99
- Archer, S., and Predick, K.I. (2008) Climate Change and Ecosystems of the Southwestern United States. Rangelands, June 2008.
- Bond, W. J. and Midgley, G. F. (2000), A proposed CO<sub>2</sub>-controlled mechanism of woody plant invasion in grasslands and savannas. Global Change Biology, 6: 865–869. doi: 10.1046/j.1365-2486.2000.00365.x





Extenso ID: 68. Tiburcio Sánchez Argelia y Argelia Tiburcio. LA EXPERIENCIA EN LA CONFORMACIÓN DE UN ORGANISMO DE CUENCA A PARTIR DE UN PROCESO JUDICIAL, EL CASO DE LA CUENCA MATANZA RIACHUELO.

[Regresar al índice](#)

**Universidad de Buenos Aires, Argentina.**

**Palabras clave:** planeación, gestión del agua, agua urbana

## RESUMEN

La cuenca Matanza-Riachuelo ubicada en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), se caracteriza por una continua degradación de los cuerpos de agua desde su fundación. Durante más de 200 años, se realizaron sucesivos intentos para revertir la profunda degradación ambiental de la cuenca. Sin embargo no fue hasta el año 2004 mediante la intervención de la defensoría del pueblo mediante un proceso judicial que se abrió la posibilidad de reconocer legalmente la obligación del Estado Nacional, la provincia de Buenos Aires, la CABA a implementar un plan de saneamiento para esta cuenca. La dimensión de la problemática exigió considerar el problema dentro del marco del enfoque de cuencas y en consecuencia se consideró la creación de una autoridad de cuenca con las atribuciones y recursos necesarios para llevar a cabo las tareas de recomposición impuestas por los tribunales bajo un enfoque de planeación participativa. El objetivo de este trabajo es presentar las diferentes problemáticas que ha experimentado este organismo para legitimar su rol como organismo interlocutor y coordinador de los diferentes órdenes de gobierno, nacional, provincial y municipal. Así como las diferentes estrategias que ha seguido a lo largo de una década de creación. El plan de saneamiento se ha realizado de manera parcial y progresiva y aunque se aprecian avances sustantivos, los resultados han sido cuestionados por múltiples actores, por lo que se considera valioso tomar en cuenta estas experiencias, ya que las condiciones que se plantean son similares a los contextos que se viven en México.

**Palabras clave:** (4-5) recomposición, planeación participativa, gestión de cuencas.

## 1 INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo es aceptado que los problemas relacionados con el agua son inseparables de los procesos territoriales, urbanísticos, agrarios-forestales e industriales. En múltiples foros se defiende el enfoque de cuencas como el marco apropiado para el análisis de los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos suelo, agua y vegetación (Cotler y Priego, 2003), de esta forma la cuenca se constituye como la unidad territorial para crear espacios de gobernabilidad para conducir procesos de gestión con participación e involucramiento de actores locales permitiendo la planificación y gestión del recurso agua con una visión integral, desde el entendimiento del ciclo del agua (Herrero, 2008). Si bien la validez de considerar a la cuenca como la unidad base para la gestión del agua o del territorio es reconocida a nivel internacional, la práctica demuestra que existen serias dificultades para adoptar este enfoque, especialmente cuando se crean organismos de cuenca que no cuentan con los atributos necesarios para cumplir con los roles para los que fueron ideados (Dourojeani, 2011).

Por ello este trabajo considera importante analizar la experiencia en la conformación de un organismo de cuenca, bajo la perspectiva de una transición. El enfoque de las transiciones en el terreno de la transformación de políticas públicas ha emergido como una herramienta analítica para estructurar y explicar el



comportamiento dinámico de los sistemas socio tecnológicos, con el propósito de influir, facilitar, estimular y organizar los procesos que contribuyen a un cambio en los paradigmas que rigen a estos sistemas como son la gestión del agua, del territorio, las inundaciones, por mencionar aquellos relacionados con el objeto de esta investigación.

A pesar de que los estudios sobre las transiciones llevan más de una década de realizarse, estos trabajos se han centrado mayormente en transiciones concluidas en países en desarrollo en temas como la gestión de residuos sólidos, el uso de nuevas tecnologías para la recuperación de agua de lluvia y la mitigación de inundaciones y el tratamiento de aguas (Ferguson *et al.*, 2014). Hasta ahora no se registran investigaciones en el contexto de países en desarrollo como Latinoamérica que faciliten estos procesos de transición hacia prácticas más sustentables, en la gestión del agua y del territorio.

Se ha seleccionado el caso de la Cuenca Matanza Riachuelo con un proceso particular en la creación de la Autoridad de Cuenca que implica a partir de un proceso judicial que involucró la participación de múltiples actores, que han cambiado la definición de políticas públicas y su articulación institucional entre los diferentes actores, particularmente la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo, la cual se ha erigido como un actor central en la gestión del agua y del territorio.

### **Marco Conceptual**

Como se expuso anteriormente, este trabajo utiliza como marco conceptual el enfoque de la transición y la gestión de las transiciones. Este enfoque es definido por Rotmans et al., (2000) como un proceso continuo de cambio en la sociedad por medio del cual la estructura de la sociedad o un subsistema de la sociedad cambia fundamentalmente. Estos cambios pueden obedecer a cambios externos al sistema, las innovaciones propias del sistema o impulsados por una crisis de insatisfacción con el régimen actual del sistema. Los trabajos realizados por los teóricos sobre las transiciones tanto socio-tecnológicas (por ejemplo Rotmans et al., 2001; Loorbach, 2007) como socio-ecológicas (Olsson et al., 2006) concuerdan que en los diferentes niveles que componen al sistema se llevan a cabo dinámicas, las cuales se mueven en una misma dirección lo que posibilita la transición hacia otro régimen. Esto es través de los niveles (paisaje), meso (régimen) y micro (nicho) (Geels, 2002).

Para que una transición sea completada se requieren de largos periodos de tiempo –entre 25 y 50 años-. Rotmans et al., (2001) indican que una transición tiene lugar a través de las interacciones complejas entre los actores, los mercados, las redes, las instituciones, las tecnologías, las políticas, los comportamientos individuales y las tendencias autónomas en diferentes escalas en los ámbitos económicos, ecológicos, socio-culturales e institucionales (van der Brugge y Rotmans, 2007). Las diferentes vías que pueda tomar una transición dependerán de la fuerza, alcance, velocidad y frecuencia de las presiones ejercidas en los diferentes niveles del sistema, de la estabilidad del régimen existente y su capacidad para responder a las presiones ejercidas (van der Brugge y Rotmans, 2007; Geels y Schot, 2007).

Recientemente se han hecho aportes empíricos que han ayudado a conocer el papel de los diversos actores y como contribuyen al desarrollo, (creación o modificación) de las estructuras institucionales de apoyo en las transiciones. Hutjens et al., (2011) y Brown, et al., (2013) afirman que los actores involucrados juegan un papel importante en la dirección y velocidad en las transiciones que se dan en la sociedad, pues estos crean los procesos de aprendizaje que dan lugar a las transformaciones en los sistemas. De ahí, la importancia de realizar investigaciones relacionadas con los actores involucrados en la gestión de los recursos.

Los trabajos de Huitema y Meijerink (2010) y Olsson et al. (2006) son notables para identificar el tipo y patrón de las estrategias empleadas por los (grupos de) personas que permitan cambios deseables particularmente en la política del agua y la gobernanza de los ecosistemas. Además, varios estudiosos han informado sobre una serie de actores relacionados que se cree que influyen en las vías de una transición. Estas contribuciones se han tenido en cuenta para el desarrollo de este trabajo.

Bajo este enfoque los actores involucrados en un proceso de transición pueden ser clasificados como actores de nicho (por ejemplo, los innovadores, los experimentadores), actores de régimen (por ejemplo, los reguladores, los políticos, estrategas), y los externos (por ejemplo, representantes de la comunidad) (Schot y Geels, 2008). Huitema y Meijerink (2010) prefieren denominarlos a todos en conjunto actores punteros o líderes. En ambos casos estos actores interactúan, (luchan entre sí, forman alianzas, ejercen el poder, negocian y cooperan) dentro de las limitaciones y oportunidades que les ofrecen las estructuras existentes, al mismo tiempo que actúan sobre los sistemas y los reestructuran (Geels, 2004,). Por ello resulta de interés proporcionar una visión crítica de cómo un actor elimina sus encuadres estructurales existentes para poder influir en los cambios Jorgensen (2012).

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo empleó la metodología del estudio de caso longitudinal (Yin, 2009), en el que se realizó una combinación de investigación documental y de trabajo de campo recopilando diferentes clases de datos para su posterior análisis y validación. Se recurrió a una revisión bibliográfica de diversas fuentes de información, como libros, artículos científicos, informes técnicos y periódicos con el fin de identificar las etapas en la conformación de la autoridad de cuenca capturar la dinámica de los actores a lo largo del tiempo. El trabajo de campo consistió en entrevistas semi-estructuradas y consultas con diferentes individuos, los cuales ocupan posiciones de mando medio y alto dentro de sus organismos y han tenido participación de primera mano por un periodo de tiempo largo en la transición del estudio de caso.

El estudio de caso consistió en tres fases, las cuales se describen a continuación:

En la primera fase se procedió a la selección y validación del estudio de caso a través de la revisión documental en busca de evidencias de cambios sustanciales en la estructura, institucional y de infraestructura, los cuales con base en las diferencias que establecen Pahl-Wostl et al., (2007) entre un régimen de comando y control convencional y un régimen adaptativo. Esta misma fase sirvió para identificar de manera exploratoria a los actores (nicho, régimen, externos).

En una segunda fase se realizaron 11 entrevistas con los actores delimitados en el marco conceptual (2 de nicho, 7 de régimen, 2 externos). La predominancia en las entrevistas con actores de régimen se debe a que en el proceso de investigación se encontró la emergencia de un actor de régimen (la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo ACUMAR) como un actor de importancia mayúscula. De ahí que la investigación se orientó a la exploración del papel de dicho actor.

En una última fase se realizaron dos visitas en campo, y se procedió a la sistematización de los datos el análisis y validación de la información recopilada, proporcionando los insumos para las conclusiones acerca del papel de la ACUMAR en la gestión de riesgos de inundación.

### **Zona de estudio. La Cuenca Matanza Riachuelo**

La Cuenca Matanza Riachuelo es el espacio donde convergen la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) y 14 municipios de la provincia de Buenos Aires. Desde su nacimiento el río se denomina Matanza y a partir del Puente de la Noria y hasta su desembocadura adopta el nombre del Riachuelo. Se trata de un río de llanura en el que prácticamente el agua solo es usada como receptor de los desechos, debido a lo degradado por lo que lo hace poco apto una gestión como recurso hídrico. Con una superficie de 2, 238 Km<sup>2</sup> la cuenca ocupa apenas el 0,1% del territorio argentino, pero su población – de aproximadamente 5 millones de habitantes- representa el 13.5% de la población total del país, al ser la capital y centro urbano más grande de Argentina.

La Cuenca Matanza Riachuelo (CMR) constituye una zona en la que confluyen múltiples problemas socio-ambientales, cuya crisis ambiental no se reduce simplemente a la contaminación del agua, sino que comprende aspectos económicos, sociales, ambientales, políticos y culturales. En el año 2001 un 35% de su población no contaba con agua potable y 55% carecía de cloacas. La vulnerabilidad social alcanza niveles alarmantes donde el 50% de la población en situación de precariedad del área metropolitana de Buenos Aires se localiza en la CMR. A estos problemas se suman las frecuentes inundaciones en las zonas bajas de la cuenca, y los riesgos tecnológicos derivados del Polo Petroquímico del Dock Sud localizado en la desembocadura del Riachuelo sobre el Río de la Plata, el ascenso regional de la napa freática y la problemática de la disposición de residuos urbanos e industriales. (Fundación Ciudad, 2003 ).

En las últimas décadas se llevaron a cabo una serie de obras y proyectos con el fin de rescatar el tramo más contaminado de la cuenca; pero la mayoría de estos proyectos consistieron en costosos planes y estudios de ejecución parcial que dejaban en la población afectada una sensación de impotencia ante el deterioro de la cuenca. Esta situación de estancamiento, aunada a cambios en la normativa ambiental propiciaron la participación ciudadana respecto a situaciones y problemas puntuales relacionados a la problemática socio-ambiental de la cuenca (Spadoni, 2013). Esta movilización social detonaría en la judicialización del emblemático caso Mendoza- Riachuelo en el año que impulsaría todo un movimiento ambiental. Este movimiento ambiental iniciado en el año 2002 traería múltiples cambios, a nivel institucional la conformación de la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo significó un cambio en las dinámicas de los actores involucrados así como en la implementación de nuevas prácticas de gestión, cuya experiencia se considera importante explorar en tanto surge de un mandato judicial producto de una intensa participación social..

### **3. RESULTADOS**

#### **Fases en la conformación de la Autoridad de la Cuenca Matanza Riachuelo.**

##### *Transformación del panorama*

En las décadas de los años ochentas y noventas los movimientos ambientalistas internacionales repercutieron en la agenda política de Argentina; aunque en un contexto de sucesivos y confusos cambios se crean secretarías (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente), institutos (Instituto Nacional del Agua) comités (Comité Ejecutor del Plan de Gestión Ambiental y de Manejo de la Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo) Comité Ejecutor que contrastan con el proceso de privatización de servicios de saneamiento (Pereyra, 2011). También se realizaron cambios en la normativa encaminados a la protección, manejo y conservación del agua en el territorio de la provincia con una perspectiva de cuencas. La sanción de la ley de Medio Ambiente en la que se estipula el derecho a un ambiente sano y se asegura la participación social.

A inicios del milenio las preocupaciones por el deterioro de la cuenca, se centraban en los efectos por la contaminación de la parte baja del río Matanza-Riachuelo y por las inundaciones que seguían aquejando a la población. Las propuestas de soluciones en la práctica consistieron en costosos planes y estudios que tuvieron ejecución apenas parcial y que continuaban en la línea de medidas de corto plazo (Merlinsky, 2011). La puesta en marcha del ordenamiento jurídico creado previamente, aunado al aumento de la conciencia social, en el río más contaminado en el corazón de la capital del país dio como resultado que los actores reunidos en torno a ese tema fueran otros, a las típicas autoridades de gestión hídrica, siendo la Defensoría del Pueblo, la suprema corte de Justicia dos de los actores que ocuparían un espacio central.

Otra singularidad en este caso fue la perspectiva desde la que se abordó el problema del riachuelo, ya que fue visto como un problema ambiental centrado en la salud de las personas donde la participación ciudadana ya

sea como individuos o a través de organizaciones fue decisiva. Los cambios en la normativa existente a su vez permitieron a la Defensoría del Pueblo crear un espacio para la discusión que resultó innovador y de una gran complejidad sistémica, ya que se lograron articular las distintas visiones de los afectados, visibilizó el problema ante el resto de la sociedad y lo sostuvo como tema en la agenda pública (Spadoni, 2013; Merlinsky, 2010).

Este espacio representó un espacio promotor de la institucionalidad. Los cambios en la normativa (la Ley del medio ambiente, el reconocimiento del derecho a un ambiente sano) permitieron a esta red organizada utilizar los recursos legales para judicializar el caso (Merlinsky, 2010). Las deliberaciones hechas en el espacio de la Defensoría se trasladaron a un proceso judicial donde se gestaron cambios en el régimen legislativo e institucional. En el ámbito de las audiencias públicas realizadas en la emblemática causa Mendoza Riachuelo en el que se discutieron los diagnósticos de evaluación de impacto ambiental, los programas del plan de gestión ambiental y otros informes producidos en los noventa, consolidando un cuerpo de información y un campo de conocimientos que adoptó por primera vez una mirada integral y con un enfoque de cuencas en el que la fragmentación institucional existente obligó a plantear la necesidad de conformar una autoridad de cuenca con capacidad política, presupuestal y funciones bien definidas para lograr una adecuada gestión de la cuenca.

#### *Conformación de la Autoridad de Cuenca.*

La judicialización de la problemática ambiental de la cuenca en el año 2004 representó el punto de inflexión en la curva de la transición del régimen de gestión de la cuenca. A partir de este punto, se generaron cambios en los arreglos de poder de los diferentes gobiernos con competencia en el territorio. En el congreso de la nación se discutió el proyecto de la Ley 26168 en el que se determina la creación de la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo ACUMAR. La ACUMAR tiene competencia en el ámbito de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 14 municipios de la provincia de Buenos Aires. Se le confirieron facultades de regulación, control y fomento de actividades industriales, la prestación de servicios públicos y cualquier actividad con incidencia en la cuenca. Estas facultades, poderes y competencias en materia ambiental prevalecen por sobre cualquier otra concurrente en el ámbito de la cuenca, para lo que se debe coordinar y articular las competencias con los diferentes niveles de gobierno.

A partir de su creación a la ACUMAR se le asignó el rol de organismos articulador de las políticas públicas ambientales para la cuenca y se transformó en el principal interlocutor del proceso judicial. En el año 2008 la Corte Suprema de Justicia de la Nación dictó el fallo de la causa exigiendo la recomposición del bien ambiental y el resarcimiento por daño colectivo responsabilizando al Estado Nacional, la Provincia de Buenos Aires y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, pero definió que la ejecución de las medidas recaería en la ACUMAR (Nápoli y García-Espil, 2010). La ACUMAR tiene a su cargo la gestión y control de los fondos necesarios para implementar el Plan Integral de Saneamiento Ambiental (PISA). A su vez la red de trabajo promovida por la Defensoría ds para el Pueblo se institucionalizó como parte del Cuerpo Colegiado el cual pasó a fungir el rol de fiscalizador de la ACUMAR que es monitoreado desde el poder judicial.

#### *Problemática enfrentada en la Cuenca.*

Como lo explica Dourojeanni (2011) la conformación de una autoridad de cuenca no garantiza en si misma el éxito en la gestión de una cuenca. En el caso de la cuenca Matanza Riachuelo, pese a que se le confirió un

presupuesto y facultades amplias de gestión que han supuesto una ventaja en la implantación del plan de saneamiento propuesto ha habido otros factores que han impedido que este se ejecute como se esperaba.

En primera instancia se observó que la Autoridad de cuenca tiene más facultades de las que realmente ejerce, esto se debe en parte a que de inicio por ser un organismo de reciente creación, por sí mismo no era visto como un actor con legitimidad política para negociar. En buena parte se debe a que el consejo directivo de la ACUMAR tiene una mayoría absoluta del gobierno nacional, por lo que ni la provincia de Buenos Aires, ni la Ciudad de Buenos Aires se apropiaron demasiado de las decisiones que allí se tomen a menos que, se consideren beneficiarios.

Esta problemática tiene relación con otro factor encontrado y es una fuerte resistencia al cambio por parte de poderosos actores con un papel central en el territorio, cuyos intereses se ven amenazados o en conflicto con las medidas dispuestas en el plan de saneamiento, como es el caso de las industrias, o el sector inmobiliario. En el caso de los municipios y la provincia esta resistencia se observa en la falta de acuerdos, o en acciones contrarias a la recuperación de espacios públicos y el saneamiento del río como son las políticas de uso de suelo. Hay que señalar también que las acciones de la ACUMAR en un inicio fueron erráticas e improvisadas surgidas con apremio por el temor a las sanciones económicas que forman parte del sistema de cumplimiento implementado por el juzgado encargado de llevar el caso. (Aizen, 2014, Nápoli y García-Espil, 2010;).

#### *Avances en la gestión de la Cuenca*

No obstante la problemática antes mencionada, ha habido avances que merecen ser analizados. A medida que la ACUMAR conformó equipos técnicos propios generadores de información y conocimiento sobre el funcionamiento de la Cuenca, así como una visión propia muy singular sobre los diferentes ejes de acción que se diseñaron en el plan de saneamiento, adquirió la fortaleza institucional para implementar el PISA, el cual se ha basado en un proceso de aprendizaje social en el que se identifican tres componentes: el aprendizaje mediante la práctica (el desarrollo de los conocimientos teóricos y las pruebas a través de la experiencia práctica), y la práctica con base en el aprendizaje (desarrollo de conocimientos empíricos contrastados con conocimientos teóricos).. En la Cuenca Matanza Riachuelo, se crearon redes de colaboración que se expandieron a través de la incorporación de un mayor número de actores (es decir, el sector industrial, los diferentes niveles de gobierno, -nacional, provincial y municipal- los planificadores urbanos y profesionales relacionados con la gestión del agua y el territorio).

Los cambios iniciados en los primeros años, tuvieron repercusiones en las prácticas, aunque con el tiempo han perdido el empuje inicial. Los mayores cambios se dieron en la limpieza de los márgenes del río, un nivel mayor de equipamiento de infraestructura y un mayor cuidado de los espacios verdes abiertos. Cognitivamente, el agua comenzó a integrarse en las funciones de planificación como parte importante en la prevención de daños a la salud, como espacios paisajísticos visuales y de recreación para las comunidades. Se tomaron medidas para reducir las entradas de contaminantes en las vías fluviales, que involucró la regulación de las descargas ambientales de las plantas de tratamiento de aguas residuales y procesos industriales, así como la sustitución de tanques sépticos por sistemas de alcantarillado centralizados. En los documentos empieza a reconocerse la necesidad de usar otras alternativas como la protección de los humedales y el uso de sistemas de bio-filtración para proteger los cursos de agua que reciben descargas de contaminantes y como medidas de protección para las inundaciones.

Es apreciable el cambio entre la situación actual y la situación inicial, sin embargo de acuerdo con la Defensoría del Pueblo (2015) los cambios aún se mantienen en el campo de la teoría y no han logrado traspasar las prácticas operativas. En términos de gestión del agua, se sigue utilizando la visión de



infraestructura centralizada y la gestión de las inundaciones sigue teniendo un carácter reactivo antes que preventivo.

El ordenamiento y la planificación del territorio, aspectos de suma relevancia en la gestión de una cuenca no han tenido tratamiento suficiente y esto se refleja en la incapacidad para evitar la ocupación de áreas de elevado riesgo de inundación. Un problema que recién toma importancia dentro de la ACUMAR, pues este organismo ha centrado sus esfuerzos en la contaminación ambiental.

Las redes de colaboración con la academia se han fortalecido, pero no han sido suficientes. El conocimiento generado requiere de mayor articulación y la participación más activa de otros actores como la industria, el sector de la construcción inmobiliaria y otras áreas de gestión política a nivel provincial y nacional. A pesar de que existen instrumentos legales que pueden forzar esta participación, es necesaria plantear una integración voluntaria. Se han logrado cambios sobre todo en términos de infraestructura, pero estos cambios no han traspasado otros círculos. La debilidad institucional de la ACUMAR, evidenciada en el frecuente cambio de sus directivos, no ha permitido avances en una dirección. Esto se debe a que la gobernabilidad en la cuenca se ha transformado en un asunto político que se expresa en la falta de acuerdos con competencias concurrentes en el territorio.

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

La conformación de una autoridad de Cuenca no garantiza por sí el éxito en la gestión de una cuenca, en este caso la implementación del plan de saneamiento, como se ha expresado tampoco el dotar de facultades y presupuesto es una garantía de éxito. Sin embargo, el caso de la ACUMAR nos ofrece por un lado una ventana de oportunidades para una planificación integradora, pero por el otro lado nos muestra que la conciliación de múltiples intereses en conflicto donde diversos actores con distintos niveles de poderes siguen siendo una de las barreras más importantes.

Los cambios ocurridos en la Cuenca Matanza –Riachuelo, si bien son importantes, modificando las estructuras institucionales del sistema y en la normativa, se pueden considerar más como innovaciones incrementales en el régimen existente, que como cambios hacia un nuevo régimen. Nos encontramos ante lo que Huitema y Meijerink (2009) definen como una transición inconclusa. Los cambios institucionales no han logrado traspasar las fronteras de las prácticas institucionales y tecnológicas, sin embargo esto no significa que este proceso no pueda realizarse, de hecho un punto importante que hay que entender que la emergencia de un actor interlocutor y coordinador como la ACUMAR representa toda una ventana de oportunidades para la participación social y la definición de políticas públicas. El proceso de saneamiento de la cuenca es progresivo y de hecho se encuentra en discusión actualmente un nuevo plan de saneamiento en el que se contemplan modificaciones con base en las deficiencias encontradas hoy día.

Por otra parte se concluye que el uso del enfoque de la transición ha demostrado su ayuda como herramienta para identificar el papel de los actores, así como áreas de oportunidad en la que estos actores pudieran trabajar con el fin de romper con las prácticas del régimen existente. En este caso, se identifica que, si bien la ACUMAR ha tenido un rol importante como articulador e interlocutor de políticas públicas, requiere de una colaboración mayor con otros actores en los niveles nicho y meso de acuerdo con la teoría de la transición. En las transiciones exitosas el papel de la investigación colaborativa que aporte nuevas estrategias para un cambio en las estructuras del sistema ha resultado fundamental. Por otro lado se requieren de mecanismos que incentiven este tipo de discusiones en diferentes ámbitos, de tal forma que interioricen gradualmente el discurso de la gestión integrada de la cuenca



## Bibliografía

- Aizen, M. (2014) *Contaminados. Una inmersión en la mugre del Riachuelo*. Buenos Aires: Editorial Debate.
- Cotler H. Y Priego, A. (2003) “El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de Cuencas. El Caso de la Cuenca-Lerma Chapala.” En: Cotler H. (ed.) *El manejo integral de Cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. (p. 63-79) México, INE-Semarnat.
- Dourojeanni, A. (2011) *El error de crear organizaciones de cuenca sin las atribuciones necesarias para cumplir sus roles*. Revista Virtual REDESMA 5:(1) Disponible en:
- [http://www.cebem.org/cmsfiles/articulos/REDESMA\\_11\\_art05.pdf](http://www.cebem.org/cmsfiles/articulos/REDESMA_11_art05.pdf)
- Ferguson, B.C., Brown, R. de Han, F., Deletic, A., (2014) *Analysis of institutional work on innovation trajectories in water infrastructure systems of Melbourne, Australia*. Environmental Innovation and Societal Transitions. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eist.2013.12.001>
- Fundación Ciudad, (2003) *Desarrollo Sostenible de la Cuenca Matanza-Riachuelo. Propuestas consensuadas 2002-2003*. Disponible en [www.fundaciónciudad.org.ar/pdf/conclusiones CMR.pdf](http://www.fundaciónciudad.org.ar/pdf/conclusiones%20CMR.pdf)
- Geels, F.W. (2002) *Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study*. Research Policy, 31: 1257–1274
- Geels, F.W., Schot, J., (2007) *Typology of sociotechnical transition pathways*. Research Policy, 36: 399–417.
- Herrero, A. H., & Fernández, L. (2008). *De los ríos no me río. Diagnóstico y reflexiones sobre las Cuencas Metropolitanas de Buenos Aires*. Buenos Aires: Editorial TEMAS.
- Huitema, D., and S. Meijerink, editors. (2009) *Water policy entrepreneurs: a research companion to water transitions around the globe*. United Kingdom, Edward Elgar Publishing.
- Huitema, D., Meijerink, S., (2010) *Realizing water transitions: the role of policy entrepreneurs in water policy change*. Ecology and Society 15 (2): 26.
- Huntjens, P., Pahl-Wostl, C., Rihoux, B., Schluter, M., Flachner, Z., Neto, S., Koskova, R., Dickens, C., Nabide Kiti, I., (2011) *Adaptive water management and policy learning in a changing climate: a formal comparative analysis of eight water management regimes in Europe, Africa and Asia*. Environmental Policy and Governance, 21: 145–163.
- Merlinsky M.G. (2011). “El plan integral de saneamiento ambiental del a cuenca Matanza-Riachuelo. Desafíos políticos para la gestión integrada de los recursos hídricos en la Región Metropolitana de Buenos Aires “. En: Isuani, F. (ed.) p. *Política Pública y gestión del agua. Aportes para un debate Necesario*. Buenos Aires, Argentina. Editorial Prometeo
- Merlinsky, G. (2010) *La Juridificación de los conflictos ambientales en Argentina: Actores, controversias y construcción de derechos*. Ponencia presentada en Congreso 2010 de la Asociación de Estudios Latinoamericanos, Toronto, Canadá
- Napoli, A y Garcia Espil, J. (2011) *Riachuelo: Hacer hoy pensando en la Cuenca del mañana*. FARN. [www.farn.org.ar](http://www.farn.org.ar)
- Olsson, P., Gunderson, L.H., Carpenter, S.R., Ryan, P., Lebel, L., Folke, C.,Holling, C.S., (2006) *Shooting the rapids: navigating transitions to adaptive governance of social-ecological systems*. Ecology and Society, 11: 18.
- Pahl-Wostl, C., Craps, T., Dewulf. A., Mostert. E., Tabara, D., Taillieu, T., (2007) Social learning and water resources management. *Ecology and Society* 12(2): 5 Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art5/>
- Pahl-Wostl, C., Sendzimir, J., Jeffrey, P., (2009) *Resources Management in Transition*. Ecology and Society. 4(1), 46. Disponible en : [www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art46/](http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art46/)



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Pereyra, E. (2011) “La política del agua de la Provincia de Buenos Aires. Notas para su reconstrucción histórica”. En: Isuani, F. (ed.) *Política pública y gestión del agua. Aportes para un debate necesario*. Buenos Aires Argentina, Editorial Prometeo Libros.
- Rotmans J, Kemp R, van Asselt M, Geels F, Verbong G, Molendijk K., (2000) *Transitions & Transition Management: The Case of a Low Emission Energy Supply*. ICIS/MERIT, Maastricht Science Library.
- Rotmans, J. and Loorbach, D. (2009), *Complexity and Transition Management*. Journal of Industrial Ecology, 13:184–196
- Rotmans, J., Kemp, R., van Asselt, M. (2001) *More Evolution than Revolution; Transition Management in Public Policy*. Foresight, 3, 17.
- Spadoni, E. (2013) *El Rol de la Defensoría del Pueblo en los conflictos ambientales: el Caso de la Cuenca Matanza Riachuelo*. Ambiente & Sociedad, 16(2): 47-62.
- van der Brugge, R., Rotmans, J., (2007) *Towards Transitions Management of European Water Resources*. Water Resources Management. 21: 249–267.
- van der Brugge, R., Rotmans, J., Loorbach, D., (2005) *The Transition in Dutch water management* Regional Environmental Change, 5:164-176.
- Yin, R., (2009) *Case Study Research Design and Methods*, Applied Social Research Methods Series. Sage Publications.

Extenso ID: 15. Fabián Leonardo MACÍASa. MICROCUENCAS COMO UNIDAD DE INTERVENCIÓN Y PLANEACIÓN AMBIENTAL EN ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA, DENTRO DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA: PROPUESTA DE ÁREA ESTATAL DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup>Huitzil, Red para la Resiliencia Social y Ambiental [oschuitzil@gmail.com](mailto:oschuitzil@gmail.com)

## RESUMEN

El presente trabajo versa en el potencial de recarga hídrica y de infiltración del Área Metropolitana de Guadalajara, así como las alternativas para su rehabilitación y conservación. La valoración y gestión del agua debe ser prioridad en la planeación ambiental del Área Metropolitana de Guadalajara, misma que anualmente se abastece con el 39% de agua subterránea para uso doméstico. Para identificar las zonas de infiltración se analizaron las siguientes variables; pendiente, textura, tipo de Suelo y uso de suelo, urbanización, unidades geohidrológicas y unidades litológicas. Estas variables articulan una visión sistémica entre la parte superficial, subterránea y actividades antropogénicas (crecimiento urbano y poblacional). El potencial de infiltración se determinó a través de coeficientes de escorrentía e infiltración, utilizando valores de Prevert. La integración de las variables pondera el 41.18% como zonas de alta recarga. El rango de mayor potencial de infiltración es de 425 a 685 mm anuales. Se visionan las Zonas Estratégicas Recarga Hídrica como elemento fundamental para la resiliencia de ecosistemas y ciudades, visto esto se propone un Área Estatal de Protección Hidrológica, misma que será planificada y delimitada por microcuencas, integrando el enfoque de cuenca como sujeto articulador para el desarrollo regenerativo de la ciudad, con ello se pretende recuperar funciones de la cuenca, creando reservas de agua resistentes a la variabilidad climática. Para la intervención urbana se proponen los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), esta intervención coadyuva a regular la intensidad de escorrentías, mitiga el efecto isla de calor, inherente a la calidad de vida y productividad laboral en ciudades. El enfoque de cuencas al ser dinámico y sistémico permite la creación de políticas, planes y programas públicos para la rehabilitación e intervención ambiental, esto, mediante la aplicación de SUDS a través de la integración y diseño del complejo paisajístico representan una nueva visión y alcance de la planeación y desarrollo urbano, procurando servicios ecosistémicos y la recuperación de calidad de vida.

**Palabras clave:** Resiliencia, Desarrollo regenerativo, Integración paisajística, Servicios ecosistémicos.

## INTRODUCCIÓN

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014), refiere que el territorio nacional recibe al año el orden de 1,489 Km<sup>3</sup> de agua en forma de precipitación, de esta el 71.6% evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.1% escurre por ríos y arroyos y el 6.2% restante se infiltra al subsuelo recargando a los acuíferos, lo que representa 92.3 Km<sup>3</sup> de agua. La misma CONAGUA estima que en los acuíferos se tiene el 95% del agua disponible para uso humano. El agua subterránea interactúa con la superficial en prácticamente todo tipo de paisajes (Winter, 1999). El agua subterránea en México abastece cerca de 70% del volumen de agua para uso urbano, donde se concentran más de 65 millones de habitantes, abastece a casi la totalidad de la demanda de agua de la población rural (Jiménez *et al.*, 2010). De acuerdo a CONAPO (2012), para el año 2030, el 82% de

la población total se asentará en localidades urbanas. El deterioro de la calidad del agua subterránea en los acuíferos de zonas urbanas se convierte en un riesgo potencial para las infraestructuras y las cimentaciones urbanas (Al-Sefry & Sen, 2006). La progresiva urbanización afecta la disponibilidad del agua así como su calidad, lo cual tiene implicaciones sociales, ambientales, económicas y políticas (Vázquez-Suñé et al., 1999). De acuerdo con Tóth (1999), el número y la diversidad de los fenómenos naturales que generan el flujo subterráneo son prácticamente ilimitados, ya que pueden ser modificados por uno o varios de los componentes del medio hidrogeológico: topografía, geología y clima, o por las actividades humanas que afectan las interacciones entre agua subterránea y superficial (Winter et al., 1999). En este sentido es preciso recurrir al concepto de hidrología urbana, definido por Custodio, el cual trata del conocimiento del flujo del agua subterránea, la recarga, uso y calidad del agua, gestión y repercusiones en el ámbito de la ingeniería geológica en relación con los acuíferos bajo áreas urbanizadas. La hidrogeología urbana considera los acuíferos de los alrededores que se usan para abastecer a la población y sus satélites urbanos, industriales, etc. Todos esos acuíferos son con frecuencia objeto de explotación intensiva, las condiciones de la recarga han sido drásticamente modificadas (Llamas & Custodio, 2003).

El Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), se encuentra establecida en la división geopolítica de los acuíferos Toluquilla y Atemajac. Hoy (2015), el AMG concentra más del 60% de la población total del Estado de Jalisco, este incremento históricamente ha superado la planeación y regulación del uso de suelo, así como la administración y suministro de agua. La reglamentación vigente para la protección de zonas estratégicas de recarga hídrica (ZERH) como las zonas potenciales de recarga, zonas de infiltración y descarga hídrica, se encuentra en el limbo legal, esta insuficiencia normativa en materia de agua subterránea en México, aunado al incremento poblacional y urbano, hacen puntual la creación de estrategias para la protección y posterior restauración de zonas de alto valor hidrológico. Como estrategia de intervención se propone el diseño de sistemas urbano de drenaje sustentable (SUDS), estos sistemas sensibles al agua, pueden ser utilizados en zonas urbanas y periurbanas. Los SUDS como sistemas engloban un amplio espectro de soluciones que permiten planeación, diseño y gestión de aguas pluviales, cuya finalidad es aproximarse a los niveles naturales del ciclo hidrológico, minimizando impactos del desarrollo urbano en cuanto a cantidad y calidad de la escorrentía (en origen, transporte y destino), así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación (Perales, 2008). La parte central de la intervención está sujeta al enfoque de cuencas, permitiendo incluir y no excluir, esto al generar una visión holística donde el agua superficial y subterránea son parte del ciclo hidrológico. La microcuenca como delimitación territorial agrupa infaliblemente zonas de recarga y descarga de uno o más acuíferos con sus flujos, locales, intermedios o regionales. Este estudio prospectivo, propone zonas estratégicas de recarga hídrica, mismas que podrán ser parte fundamental en la planificación ambiental y territorial, actuando como base para la implementación de políticas públicas, para el desarrollo de ciudades resilientes.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la identificación de zonas de infiltración con potencial de recarga hídrica se utilizó el análisis y superposición de capas vectoriales. Este análisis articula y crea información pertinente, agiliza la integración de información así como su interpretación. La metodología parte de una visión sistémica del medio, integrando una visión holística entre el agua subterránea y la subterránea, el uso del suelo y la dinámica de las actividades antropogénicas.

### **Descripción del área de estudio: Acuíferos Toluquilla y Atemajac**

El área de estudio se centra en el AMG, se utilizó la delimitación administrativa de los acuíferos Toluquilla y Atemajac (Figura 1), con aproximadamente 1,380 km<sup>2</sup>. Para el acuífero de Atemajac se describen dos tipos; el primero granular formado por alternancias de arenas pumíticas con intercalaciones de derrames lávicos de



composición basáltica con un espesor de 4 a 300 metros, al acuífero granular le subyace un segundo considerado semiconfinado, fracturado, formado por basaltos y andesitas. El acuífero Toluquilla es definido como libre heterogéneo y anisótropo, presenta condiciones de semiconfinamiento, esto dado por la intercalación de sedimentos arcillosos.

Los acuíferos Toluquilla y Atemajac se encuentran en el Occidente de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), misma que se extiende por más de 1,000 km desde el océano pacifico hasta el golfo de México. La FVT es la región del país que mayor atención ha recibido; en su territorio se han realizado diversos estudios, relacionados con su geología y geofísica, es una región geológica o vulcanológicamente activa y donde se concentra la mayor parte de la población e infraestructura del país (Gómez-Tuena *et al.*, 2005).

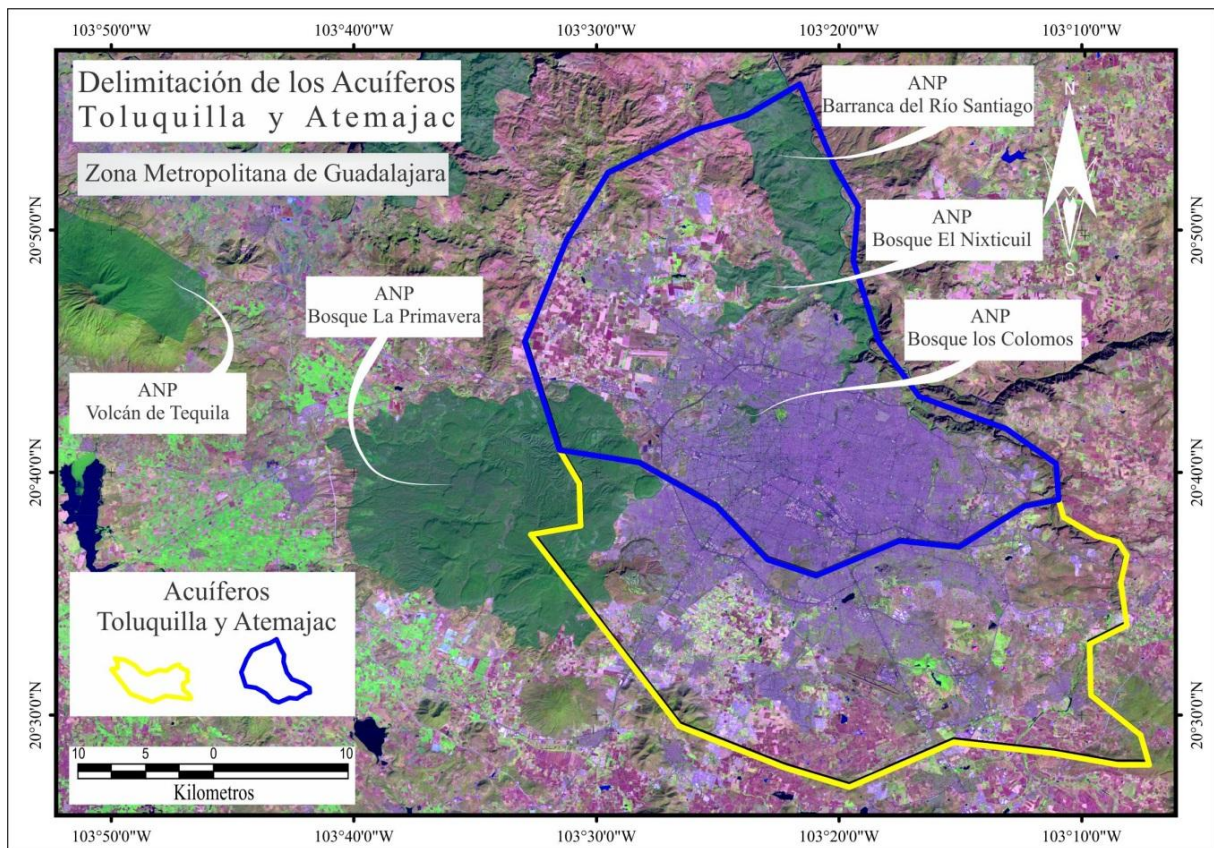


Figura 1. Localización de la zona de estudio. Al Oeste el Bosque La Primavera, al Este la Barranca de Huentitán

y el Río Santiago. Fuente: Elaboración a partir de datos vectoriales de INEGI; Imagen landsat, USGS 2015.

### Descripción y análisis biofísico

Se procesaron las siguientes variables, cada una se analizó y convirtió en raster; pendiente del terreno, textura del suelo, unidades geohidrológicas, unidades litológicas, uso de suelo y tipo de vegetación; para ello se

utilizaron datos vectoriales de INEGI (2013, 2014), imagen landsat obtenida el 15 de mayo USGS (2015), reclasificando valores para interpretación a; Muy alta, Alta, Media, Baja y Muy Baja Recarga (Cuadro 1). Se procesaron los datos de 35 estaciones climatológicas, periodo 1960-2010 de INIFAP (2012).

Cuadro 1. Articulación y ponderación de infiltración para cada variable propuesta.

Pendiente %	Tipo de Textura	Unidad Litológica	Unidad Geohidrológica	Uso de Suelo y Tipo de vegetación	Ponderación de infiltración
0-5	Gruesa		Muy permeable	Bosque Pino-Encino/Pino Pastizal inducido/cultivado	Muy Alta
05-10	Media		Permeables	Selva Baja Caducifolia	Alta
10-20			Medianamente permeable	Agricultura	Media
20-35	Fina		Poco permeable		Baja
>35			Impermeable	Asentamientos Humanos	Muy Baja

Fuente: Elaboración a partir de las variables propuestas.

Para calcular el potencial de infiltración se utilizaron coeficiente de escorrentía ( $E_s$ ) y de infiltración ( $I$ ), empleando los valores de Prevert (Cuadro 2), estableciendo que;  $1-E_s = I$  y  $1-I = E_s$ . La zona urbana se complementó con valores propuestos por Chow *et al.*, (1993), además se incluyeron datos para Selva Baja Caducifolia (SBC).

Cuadro 2. Coeficientes de escorrentía

Uso de suelo	Pendiente	Textura		
		Gruesa	Media	Fina
Bosque	0-5	0.10	0.30	0.40
	5-10	0.25	0.36	0.50
	10-30	0.30	0.40	0.60
	>30	0.32	0.42	0.63
Pastizal	0-5	0.15	0.35	0.45
	5-10	0.30	0.40	0.55
	10-30	0.35	0.45	0.65
	>30	0.37	0.47	0.68
Agricultura	0-5	0.30	0.50	0.60
	5-10	0.40	0.66	0.70
	10-30	0.50	0.70	0.80
	>30	0.53	0.74	0.84
SBC	0-5	0.15	0.35	0.45
	5-10	0.25	0.45	0.55
	10-30	0.30	0.50	0.60
	>30	0.35	0.55	0.65
Zona Urbana	0-5	0.70	0.81	0.92
	5-10	0.76	0.85	0.93
	10-30	0.88	0.91	0.94
	>30	0.95	0.95	0.95

Fuente: Treviño *et al.*, (2002) & Chow *et al.*, (1993), modificado por Macías (2015).

### Dinámica de crecimiento urbano y poblacional

En 1970 la ZMG el censo fue de 1,381,984 habitantes y una superficie de 130 Km<sup>2</sup> aproximadamente. Para el 2015, cuenta con una extensión urbana cercana a las 750 km<sup>2</sup> (Figura 2), con una población de más de 4,676,590 habitantes de acuerdo con INEGI (2011) y, la proyección de CONAPO (2015).



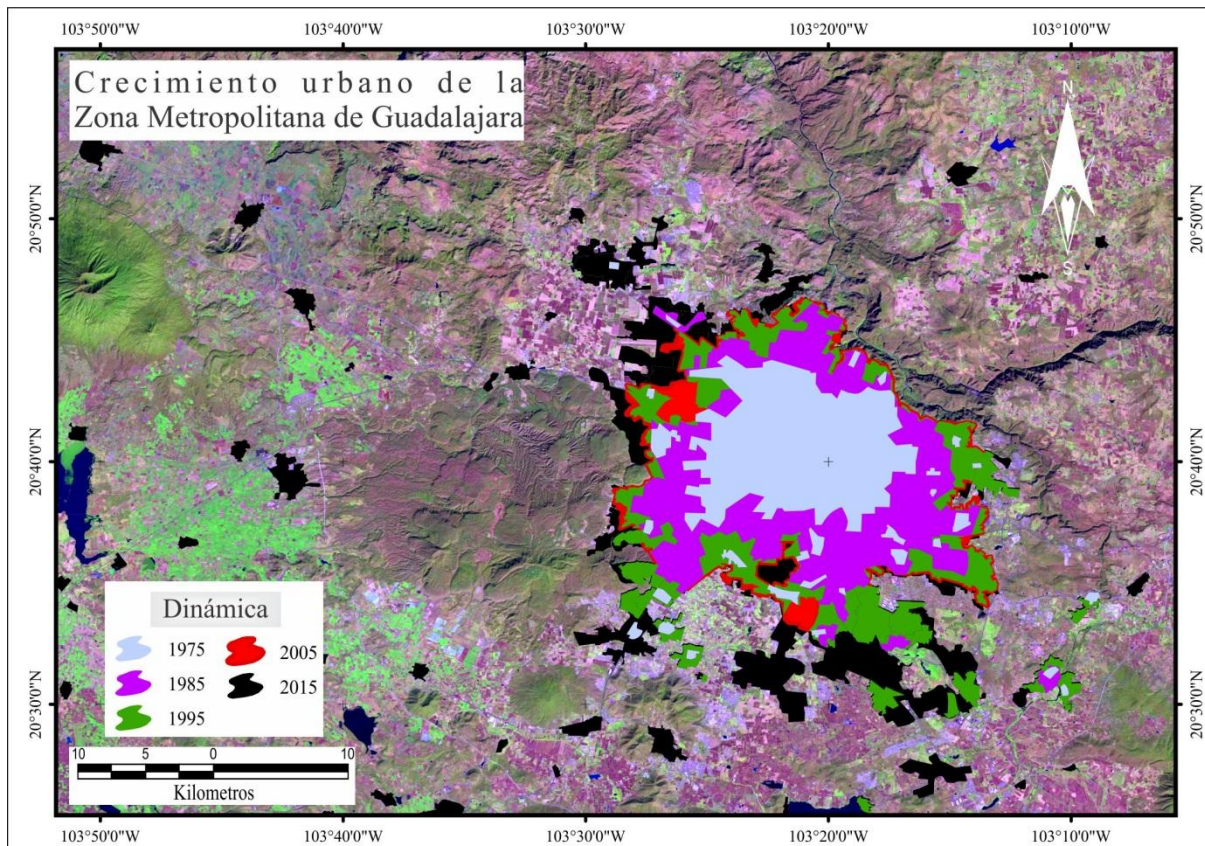


Figura 2. Dinámica de crecimiento ZMG, que visibiliza la tendencia reciente hacia la parte Norte de los acuíferos.

Fuente: Elaboración a partir de datos vectoriales de INEGI: Para el año 2015 se utilizó una imagen landsat USGS.

### Delimitación y criterios de microcuencas

Para la delimitación de las microcuencas se usó un modelo digital de elevación de 15m de resolución, se procesó y se seleccionaron aquellas que cumplían con algún lineamiento o condición de acuerdo a los criterios ambientales estatales, para la elaboración de propuestas de declaración de áreas naturales protegidas en el estado de Jalisco, enfatizado en su punto 3.4; Criterios ambientales aplicables en la elaboración del estudio técnico para el Área Estatal de Protección Hidrológica, estableciendo tres unidades de manejo: **Unidad de manejo para el aprovechamiento productivo**: son aquellas áreas donde las actividades productivas no afectan de forma significativa el recurso agua y por tanto se conservan las funciones ambientales. **Unidad de manejo para el aprovechamiento hidrológico**: Pueden ser las áreas donde se encuentran los ríos, las presas, los bordos, las norias y los manantiales donde se presenta un balance hidrológico positivo. **Unidad de manejo para la recuperación**: son aquellas áreas donde se pretende la restauración del medio hidrológico, mediante la aplicación de medidas correctivas o limitativas.

## RESULTADOS

De acuerdo a la dinámica urbana y poblacional (Figura 3), en cuarenta años el área urbana del AMG creció seis veces, mientras que la población incrementó tres. La presión urbana avanza hacia el Norte, Noroeste y Suroeste del AMG correspondiente al municipio de Zapopan. Se aprecia la modificación de la red hídrica; entubando y desapareciendo el 45.2% de los escurrimientos del área de estudio (acuíferos Toluquilla y Atemajac). La impermeabilización ha mermado la infiltración, aumentando la escorrentía.

La integración de las variables refiere zonas de muy alta y alta recarga hídrica, situadas al Norte y Noroeste del acuífero Atemajac y, al Sur y Suroeste del acuífero Toluquilla, el 41.18% del área de estudio (Figura 3), mientras que, los coeficientes de infiltración marcan el 43.15%.

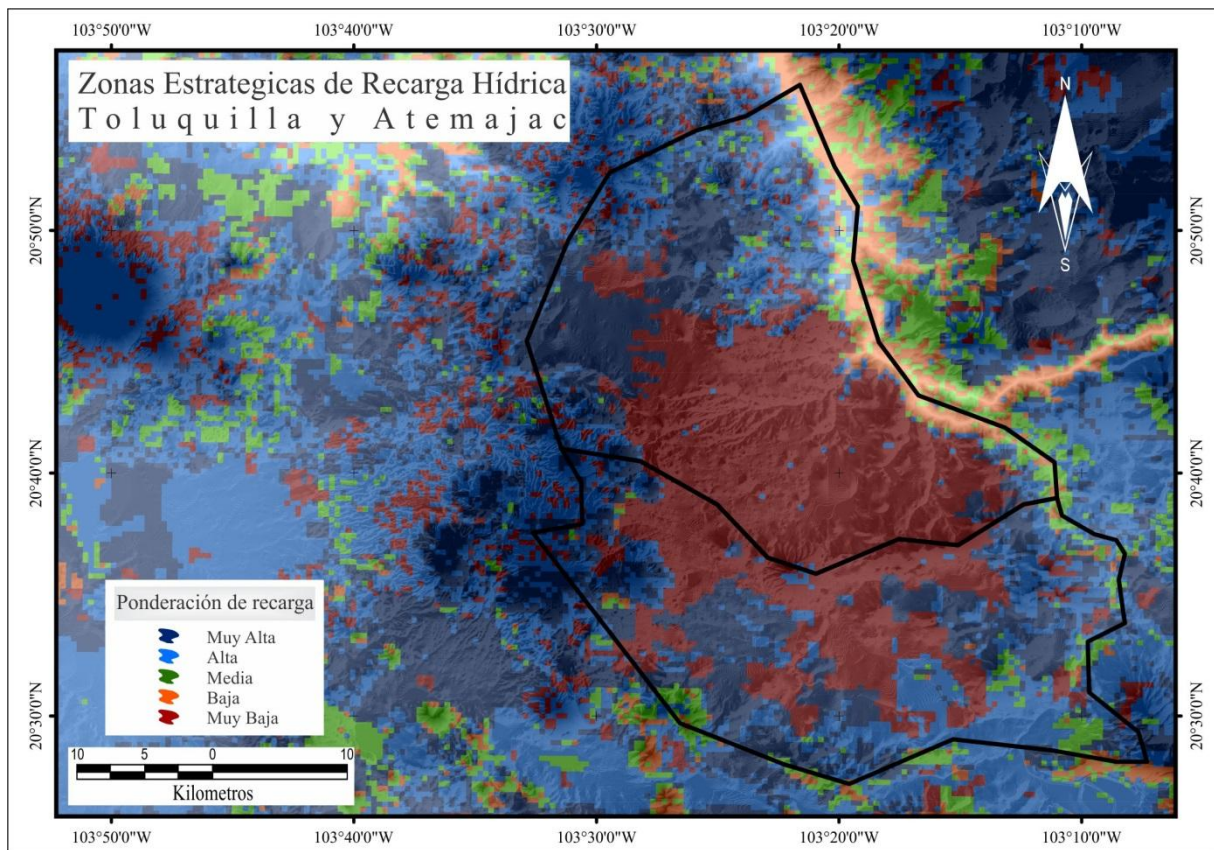


Figura 3. Zonas estratégicas de recarga hídrica, resultante de la integración de las variables propuestas.

Al desglosar variable por variable se tiene que; por pendiente el 88% del área de estudio corresponde a valores de muy alta y alta recarga hídrica, situadas en el centro y Norte y Noroeste, esta variable es quien más interacción tiene con la zona urbana compartiendo un 43% del territorio; textura supera el 90% de muy alta y alta infiltración, esta postura es favorable para implementar medidas para incrementar la infiltración en zonas urbanas, claramente la ZMG está dispuesta en textura gruesa y media; tipo de roca, 64.49% las unidades geohidrológicas corresponden a material no consolidado con posibilidades altas. Con ello se tiene un rango potencial de infiltración de 425 a 685 mm y, una estimación de 204 Mm<sup>3</sup> de infiltración anual (Figura 4).



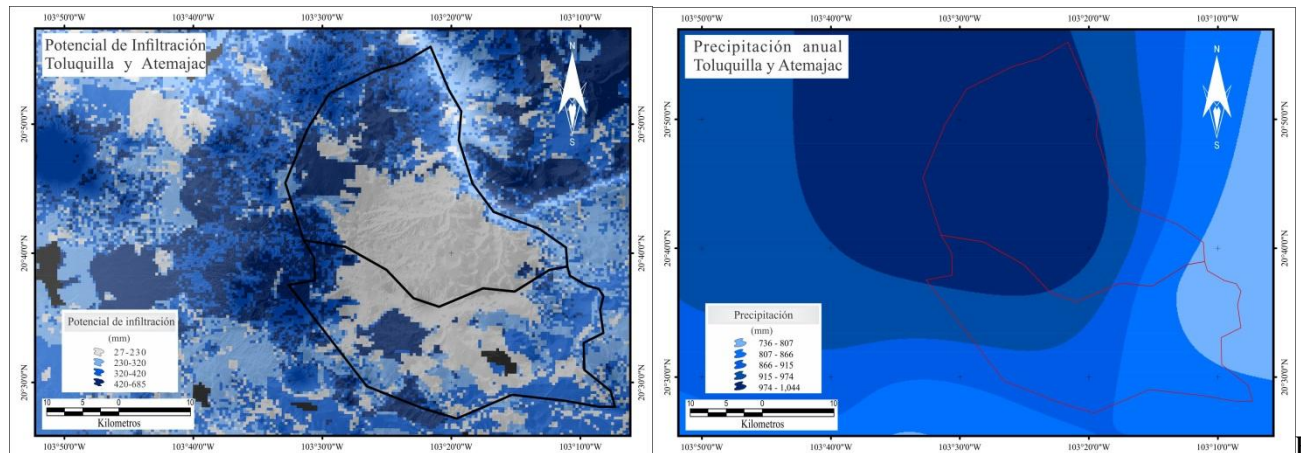


figura 4. Potencial de infiltración y precipitación anual del área de estudio.

La delimitación de la propuesta de Área Estatal de Protección Hidrológica, queda conformada de la siguiente manera, siendo las microcuencas como unidades de análisis planeación e intervención (Figura 5).

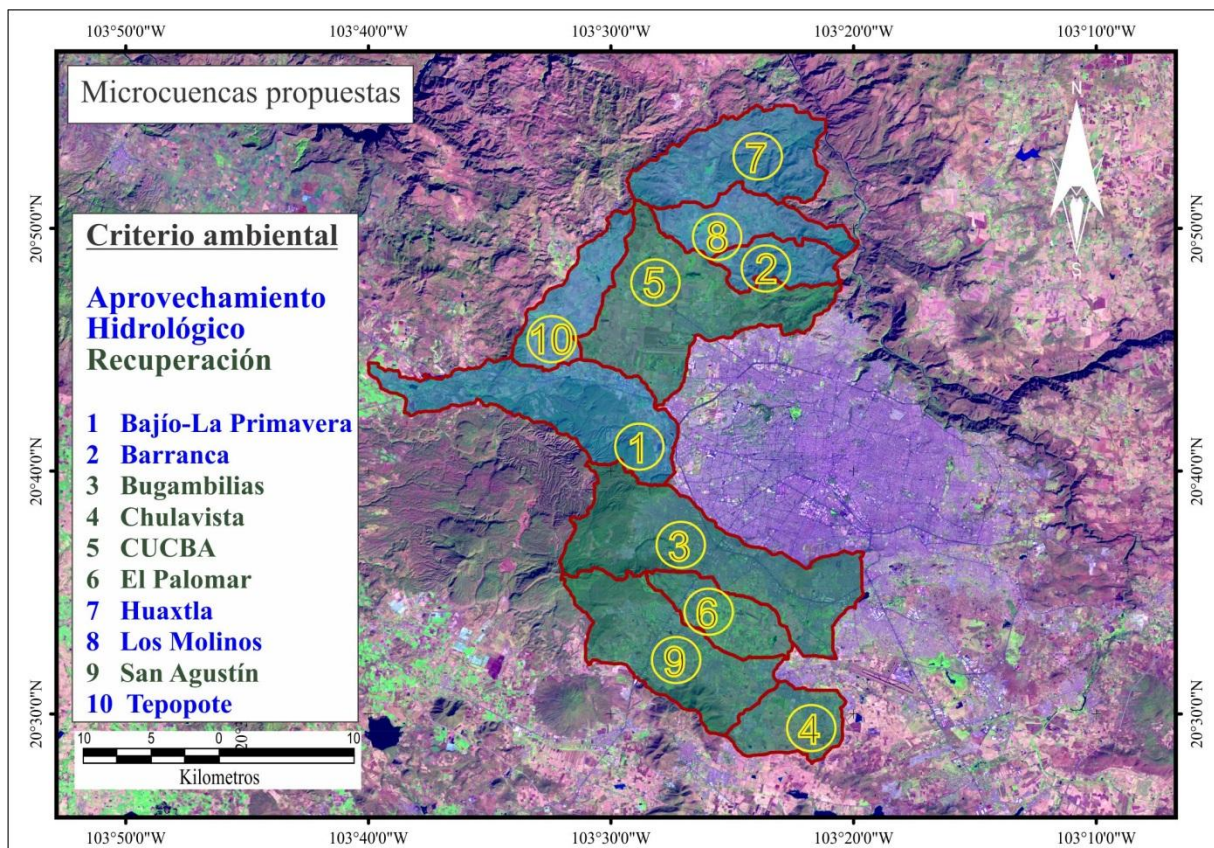


Figura 5. Microcuencas; propuesta Área Estatal de Protección Hidrológica.

Una vez analizadas las variables se establecieron 56 microcuencas para el área de estudio, de las cuales se seleccionaron 10 para la propuesta de intervención. Se propusieron las microcuencas en zonas periurbana y urbana dispersa como apuesta más favorable para llevar a cabo la intervención y planeación ambiental estratégica, mismas que presentan el mayor potencial para la infiltración y recarga.



De acuerdo a los parámetros morfométricos de las microcuencas propuestas encontramos que; **Coefficiente de Forma**, las microcuencas *Bajío, Bugambilias, El Palomar, Huaxtla, San Agustín, Tepopote* son ligeramente achatadas suponiendo una concentración moderada de agua, partiendo que la cuenca drena o infiltra la mayor cantidad de agua precipitada. *Chulavista, CUCBA*; moderadamente achatadas, con tendencia a concentrar mayor cantidad de agua. *Los Molinos y Barranca*; poco achatada siendo las cuencas con menor concentración de flujo, esto por la eficiencia “natural” del drenaje presente en las mismas; **Coefficiente de Compacidad**, define a *Chulavista* como redonda a oblonga, asociado a la capacidad de concentración de agua, y mayores volúmenes de escurrimiento, de las microcuencas restantes, seis se clasifican como oval oblonga a rectangular oblonga, y cinco como oval redonda a oblonga. De acuerdo al **Coefficiente de Masividad**, tenemos como muy montañosa a las microcuencas *Bajío, Bugambilias, Huaxtla, San Agustín*, refiriendo cuencas con mayor energía y precipitación, el resto de las microcuencas presentan lomeríos y pendientes moderadas. **Índice de alargamiento**, *Bajío, Bugambilias, El Palomar, Huaxtla, San Agustín, Tepopote*, y *Los Molinos* clasificándolas como microcuencas muy alargadas, teniendo un mayor transporte de flujo, incrementando las posibilidades de infiltración. De acuerdo a la **densidad de drenaje**, *CUCBA, El Palomar, Tepopote y los Molinos*, como densidad baja, esto refleja o indica el tipo de suelos muy permeables y/o coberturas vegetales muy densas. Mientras que las microcuencas; *Chulavista, Bajío, Bugambilias, Huaxtla, San Agustín, Barranca*, reflejan una densidad de drenaje moderada, situando valores similares al conjunto de microcuencas.

Cuadro 3. Lineamientos y Características de las microcuencas propuestas

Microcuenca	Porcentaje Urbanizado	Condición Hidrológica	Detalle	Observación
<b>Bugambilias</b>	63.85	Recuperación	Muy alta y alta recarga potencial. Con alta presión urbana y alto riesgo a inundaciones.	Consolidar el área de amortiguamiento APFFLP
<b>CUCBA*</b>	46.75	Recuperación	Muy alta recarga potencial. Zona agrícola con alto índice de urbanización.	Consolidar corredor biológico ANPs. Conservar valle agrícola.
<b>San Agustín</b>	44.5	Recuperación	Muy alta y alta recarga potencial. Con alta presión urbana.	Consolidar corredor biológico ANPs. Mejorar técnicas de cultivo.
<b>El Palomar</b>	32.74	Recuperación	Muy alta recarga potencial. Zona agrícola con alta presión urbana.	Mejorar técnicas de cultivo. Preservar.
<b>Chulavista</b>	32.02	Recuperación	Muy alta y alta recarga potencial. Zona agrícola con alta presión urbana.	Mejorar técnicas de cultivo. Preservar.
<b>Bajío-La Primavera</b>	14.96	Aprovechamiento Hidrológico	Muy alta y alta recarga potencial. Con alta presión urbana.	Consolidar el área de amortiguamiento APFFLP
<b>Los Molinos</b>	13.04	Aprovechamiento	Muy alta recarga potencial. Zona agrícola con alta presión	Consolidar corredor biológico ANPs.



		o Hidrológico	urbana	Conservar valle agrícola.
<b>Tepopote</b>	11.82	Aprovechamient o Hidrológico	Muy alta y alta recarga potencial. Presión urbana moderada.	Consolidar corredor biológico ANPs. Conservar valle agrícola.
<b>Huaxtla</b>	9.47	Aprovechamient o Hidrológico	Alta recarga potencial. Presión urbana moderada.	Consolidar corredor biológico ANPs.
<b>Barranca</b>	8.81	Aprovechamient o Hidrológico	Alta recarga potencial. Presión urbana moderada.	Consolidar corredor biológico ANPs.

\*La microcuenca CUCBA refiere Muy alta infiltración con alto valor potencial de recarga, para lo cual se considera dentro de Aprovechamiento Hidrológico y de Recuperación.

La propuesta corresponde a 67,455 hectáreas de las cuales el 60% es de Recuperación, contabilizando que la microcuenca CUCBA puede ser vista desde ambos criterios ambientales, siendo que, es la zona de mayor potencial de infiltración y recarga de acuerdo a los resultados. Los detalles y observaciones de la propuesta se muestran en el cuadro 3.

La superficie delimitada a través de las microcuencas tiene un **62.17% de ponderación muy alta y alta recarga hídrica**, cabe señalar que dicha superficie excede la delimitación administrativa de los acuíferos. Estas zonas de infiltración pueden tener la capacidad geológica de alimentar acuíferos colindantes. La delimitación propuesta tiene el 33.65 % de impermeabilización, de acuerdo a Zandbergen (2000), la zona propuesta se encuentra dentro de un ambiente degradado, partiendo como indicador de la calidad y la salud de las cuencas urbanas. Este porcentaje hace factible la intervención con SUDS como pueden ser:

- Cubiertas vegetales (techos verdes)
- Superficies permeables
- Pozos y zanjas de filtración
- Drenes y cunetas filtrantes
- Depósitos de retención y filtración
- Humedales artificiales



La implementación de SUDS no solo se ve reflejada en la infiltración y posible recarga hídrica. Al especular con dos proyecciones futuras para las condiciones de precipitación potencial para el AMG se tiene que; al existir mayor precipitación se requieren mayores zonas de captación infiltración y recarga, para regular los flujos y garantizar reservas de agua y, al existir menor cantidad de lluvia, se requieren mayores zonas de recarga, para asegurar la infiltración y posible recarga efectiva, y así garantizar reservas de agua (Figura 6).

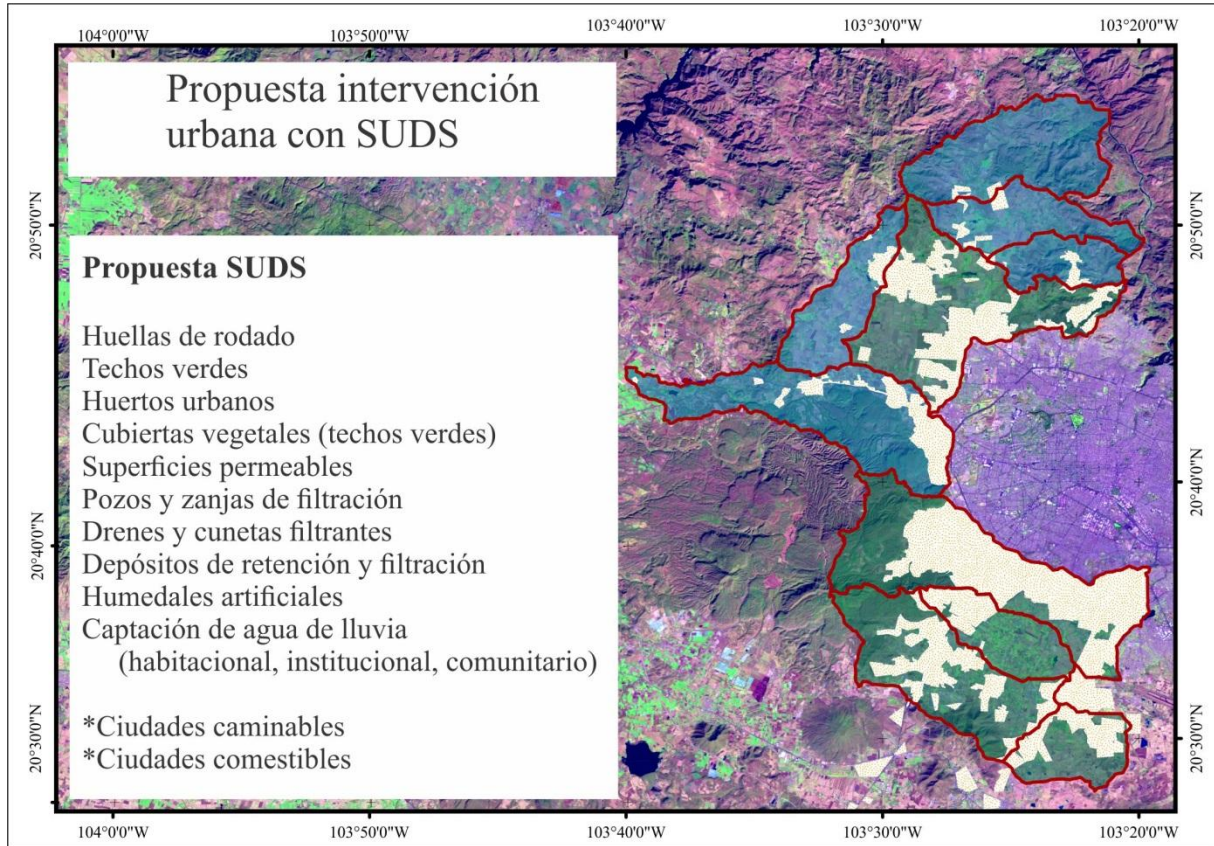


Figura 6. Propuesta de intervención en la zona propuesta de protección hidrológica.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El crecimiento urbano continúa hacia zonas agrícolas de alta producción, como el Valle de Tesistán (conocido como la ex villa maicera), zonas forestales como el Bosque La Primavera y, el Bajío del Arenal. Dicha urbanización carece de lineamientos ambientales, esto dispuesto en el código urbano para el Estado y los planes parciales de desarrollo urbano, con ello se disminuye la oferta hídrica y la calidad ambiental.

La condición de conservación y/o degradación del territorio, se ve reflejado en la calidad y cantidad de agua infiltrada, misma que repercute en la salud de los servicios ecosistémicos. Todo lo que acontece en la parte superficial irremediablemente se verá reflejado en lo subterráneo. Por lo tanto, la protección de aguas subterráneas a través del enfoque de cuencas, dista de ser superficial, el buen manejo y gestión incrementa la capacidad de infiltración y recarga, resguardando agua en cantidad y calidad, esta delimitación puede actuar como gestor de riesgos al regular inundaciones y mitigar el efecto de isla de calor. La gestión del riesgo mediante zonas estratégicas disminuye la vulnerabilidad de las zonas a intervenir y zonas próximas a la intervención. Integrando lo antrópico y lo natural, desarrollando infraestructura resiliente a variaciones climáticas. Esto se vuelve relevante ya que el AMG concentra el 60% de la población del estado y, de acuerdo



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

a las proyecciones aumentará al 80%, ésta concentración de población demandará mayor eficiencia en la procuración, suministro y saneamiento de agua.

Es imprescindible que la planeación y el desarrollo urbano del AMG se trace con una visión interdisciplinar, multi-escalar, holística, capaz de articular y soluciones ambientales, urbanísticas, sociales, culturales y económicas, inherentes entre sí. El análisis e interpretación realizado a través de la integración de las características biofísicas y sistémica del ambiente, permite generar un acercamiento a las zonas estratégicas de recarga hídrica. La visión holística del ambiente, la integración de variables antropogénicas y la vinculación de la superficie y de sistemas de flujo trae consigo un mejor entendimiento del dinamismo hídrico urbana-natural.

La relación agua subterránea, uso de suelo y desarrollo socioeconómico es permanente, por lo tanto se visiona el sistema hídrico como unidad central de planeación urbana, productiva y ambiental. En este momento faltan instrumentos legales para identificar y proteger las ZRH, así como para restringir el uso de suelo, por lo cual es preeminente la propuesta de las ZRH como Área Natural de Protección Hidrológica, en su modalidad Estatal; aunado a medidas técnicas y normativas, con la intervención de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible a través del enfoque de cuencas, para la recuperación de funciones de las cuencas y los servicios ecosistémicos que brindan (aun dentro de transformación urbana).

La protección legal de las ZERH y descarga, pueden y deben dictar pautas en la planeación urbana y/o establecer nuevas técnicas de urbanización en cada centro urbano, pueden ser parteaguas en la planificación territorial, iniciando con la generación de un atlas estatal o nacional de zonas estratégicas de recarga hídrica, definidas en suelos forestales y no forestales. La integración de herramientas y disciplinas ambientales y sociales, permiten la planificación de medidas de adaptación y regeneración en el medio urbano y rural.

Este enfoque se debe traducir en la articulación de políticas de conservación y restauración con visión sistémica de la cuenca como unidad de análisis e intervención. El agua como activo ecosocial demanda respuestas y la creación de nuevos paradigmas; la valoración, gestión y manejo integral del agua de manera individual y colectiva tiene que ser el detonante de actividades regenerativas hacia la comprensión y corrección de las acciones realizadas al modificar el ciclo hidrológico. Es fundamental que el agua en su origen, destino, calidad y cantidad sea gestionada como factor limitante a las actividades antropogénicas, como lo es el desarrollo industrial y urbano. La reserva de agua no sólo es para uso humano, es preponderante la conservación para la naturaleza, garantizando la salud de los servicios ecosistémicos, en este sentido la ciudad funge como laboratorio, ya que las acciones que se realizan y realizarán como medidas de adaptación al cambio climático tienen un claro señalamiento en la capacidad de preservación de agua en cantidad y calidad, en su uso racional.

Se hace constar la necesidad de investigación para la identificación y definición de técnicas que permitan intervenciones urbanas óptimas para la captación, infiltración y recarga, se enfatiza la caracterización hidrogeológica regional, con estudios hidroquímicos e isotópicos, verificando el funcionamiento sistémico, en el contexto de sistemas de flujo e hidrología urbana, de esta manera se podrán completar los conocimientos y establecer lineamientos para el uso de suelo y regulación de actividades.

El manejo de microcuencas urbanas y periurbanas, la integración y diseño de intervenciones puntuales con enfoque sistémico representan la oportunidad de recrear una visión y ejecución de la planeación y desarrollo urbano, procurando servicios ecosistémicos, coadyuvando a la recuperación de los mismos. El Área Estatal de Protección Hidrológica responde a las necesidades de protección de las ZERH, con ello se atienden problemáticas de alto nivel de mediación, como calidad de vida, regulación de inundaciones y temperatura, además de potencializar la infiltración y posible recarga en agua de calidad y cantidad. El uso de estas





herramientas se orienta a la recuperación de identidad y empoderamiento del territorio, caracterizando que los problemas y soluciones nacen y se extienden en el mismo lugar, la ciudad. Con pequeñas intervenciones se pueden recuperar funciones de la cuenca; ambientales, hidrológicas, microclimáticas y ecológicas.

## AGRADECIMIENTOS

Se hace extensivo el agradecimiento al Maestro Miguel Magaña, a la Doctora Nélida Barajas, a la Bióloga Giovana Amaya, por su apoyo, consejos, conocimiento y disposición durante la realización de esta propuesta.

## LITERATURA CITADA

- Al-Sefry, S. A., y Sen, Z. 2006. *Groundwater rise problem and risk evaluation in major cities of arid lands, Jedddah Case in Kingdom of Saudi Arabia*. Water Resources Management, 20, 91-108.
- Chow, J., y Watson, J., y Lowenthal, D., y Solomon, P., y Magliano, K., y Ziman, S., y Richards, L. 1993. *PM10 and PM2.5 composition in California San Joaquin Valley*. Aerosol Sci. Technol, 18, 105-128.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2014. *Estadísticas del agua en México*, edición 2014. México.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) 2012. *Proyecciones de la población 2010-2050*. En <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones> fecha de consulta:24 enero del 2015.
- Custodio, E., 2004. *Hidrogeología Urbana: una nueva rama de la ciencia hidrogeológica*: Boletín Geológico y Minero, 115, 283–288.
- Custodio, E., y Llamas, M., y Samper, J. 1997. *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*. IGME-IAH, España, 455 pp.
- Gómez-Tuena A., y Orozco-Esquivel M. 2005. *Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana*. Boletín de la Sociedad Geológica de México, 57, 227-285.
- Jiménez, B., y Torregrosa M, L., y Aboites L. 2010. *El agua en México: cauces y encauces*. México. Academia Mexicana de las Ciencias.
- Llamas, M. y Custodio, E. 2003. *Intensive use of groundwater: challenges and opportunities*. Balkema, Liesse: 1-471.
- Perales, S., y Andrés I. 2008. *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia*. Revista Técnica de Medio Ambiente (ISSN 1130 – 9881), C&M Publicaciones, 124 (Enero – Febrero 2008), p. 92–104.
- Tóth J. 1999. *Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations*. Hydrology Journal 7, 1-14.
- Vázquez-Suñé, E., Sánchez-Vila, X., Carrera, J., 1999. *Gestión de las aguas subterráneas en zonas urbanas, conceptualización y modelación: aplicación a Barcelona (España)*, en Tineo, A. (ed.), Hidrología Subterránea: Tucumán, Argentina, Instituto Superior de Correlación Geológica, 153–160.
- Winter, T. C., 1999. *Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems*. Hydrology Journal, 7, 28-45.

- Zandbergen, P. y Schreier, H. y Brown, S. y Bestbie, R. 2000. *Urban watershed management version 2.0*. Vancouver: Institute for Resources and Environment, University of British Columbia.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 39. Esthela I. Sotelo Núñez<sup>a</sup>, María Luisa Cuevas Fernández<sup>b</sup>. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA INCORPORAR EL ENFOQUE DE CUENCA EN EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Xochimilco, email: esthela.sotelo@gmail.com

<sup>b</sup> Consultora Independiente email: marilucuevasfdz@gmail.com

## RESUMEN

El objetivo de este estudio es identificar ventanas de oportunidad para fortalecer el proceso de Ordenamiento Ecológico del Territorio introduciendo criterios que faciliten la identificación de procesos causa-efecto, conectados hidrológicamente en una unidad territorial dada. Se considera que los resultados arrojados fortalecen la toma de decisiones en materia de planeación del territorio, pues el Ordenamiento Ecológico (OE) constituye la principal herramienta de política ambiental para incidir en la planificación del uso del territorio, mientras que el enfoque de cuenca (EC) es un enfoque ad hoc para incorporar criterios de funcionalidad ecohidrológica a la planificación y priorización de las actividades productivas. A partir de una revisión documental exhaustiva y de distintas reuniones de trabajo sostenidas con personal de la Dirección de Manejo de Cuencas y Adaptación (INECC) y de la Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial (SEMARNAT) se delinearon los temas y variables con enfoque de cuenca que se podrían incorporar en la etapa de caracterización y diagnóstico de los ordenamientos ecológicos regionales y locales. Con esta información se construyeron dos matrices, una de caracterización y otra de diagnóstico. En ellas se describe un conjunto de temas y variables a través de los cuales podría llevarse a cabo la incorporación del EC en el OE local y regional.

**Palabras claves:** Indicadores, Variables, ordenamiento ecológico, enfoque de cuenca, planificación territorial.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente establece en el Artículo 17 que “En la planeación nacional del desarrollo se deberá incorporar la política ambiental y el ordenamiento ecológico...”, definiendo, en la misma Ley, al ordenamiento ecológico como: “El instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos” (LGEEPA, artículo 3<sup>ro</sup>, apartado XXIV, 2014).

El OE contempla seis fases: formulación, expedición, ejecución, evaluación y, en su caso, modificación del programa. A su vez el programa de OE, que contiene los lineamientos y estrategias ecológicas aplicables, consta de cuatro etapas (DGPAIRS, 2013):

1. Caracterización: Descripción del estado de los componentes del sistema a ordenar e Identificación de los intereses de los sectores involucrados.
2. Diagnóstico: Identificación y análisis de los conflictos ambientales y las sinergias entre sectores e identificación y delimitación de las áreas para preservar, proteger y restaurar.



3. Pronóstico y prospectiva: Examinar la evolución de los conflictos ambientales y construcción de escenarios que analicen la demanda y presión sobre los recursos naturales.
4. Propuesta: Establecimiento de las políticas y estrategias a seguir dentro del territorio, delimitación y asignación de lineamientos ecológicos de las Unidades de Gestión Ambiental (UGA) e integración del Modelo de OE.

Si bien el OE busca ser un modelo articulado que promueva la reestructuración territorial de los procesos productivos a favor de la protección de los recursos naturales y el desarrollo sustentables, en los últimos años se ha observado que los ordenamientos regionales y locales decretados no estudian de manera integral y sistémica la problemática ambiental, ya que se restringen a los sucedido en la unidad administrativa o demarcación estudiada. Estos límites administrativos rara vez coinciden con delimitaciones naturales, como son las cuencas, y por lo tanto muchos de los procesos ambientales quedan fuera del análisis, o son considerados de manera parcial, volviendo poco eficiente al instrumento de planeación (Bunge, et al .

Por otro lado, el manejo de cuencas busca entender al territorio y sus formas de apropiación a partir del agua como eje articulador (Cotler y Caire, 2009; Cotler, 2007). El enfoque de cuenca (EC) es una herramienta de planeación, análisis y, a diferentes escalas, también es útil para la gestión de los recursos naturales. Entre otras bondades vinculadas a la planificación y ordenamiento de un territorio, este enfoque permite observar cómo –y dónde- el desarrollo de actividades productivas impacta la dinámica ecohidrológica de las unidades naturales, facilitando la ubicación espacial de diferentes problemas vinculados a los patrones de uso del territorio.

Al igual que el OE, el manejo de cuencas considera una serie de fases que permiten definir un plan de manejo. En este caso las fases del manejo de cuencas son las siguientes (Cotler y Caire, 2009):

1. Diagnóstico: Definición de los objetivos que se buscan resolver e identificación de los principales procesos biofísicos y socioeconómicos que se desarrollan al interior de la cuenca.
2. Planeación: Definición de los objetivos deseables o futuro deseado, definición de las áreas prioritarias o críticas y elaboración de un plan de manejo de cuenca.
3. Implementación: Programación y ejecución de las acciones señaladas y designación de los responsables de las acciones y recursos disponibles.
4. Evaluación: Revisión de los objetivos, metas, resultados y avances obtenidos y de ser el caso, replanteamiento de objetivos y metas a seguir.

La visión de interconectividad de los problemas que brinda el EC, evidencia interrelaciones entre usuarios cuenca arriba y cuenca abajo que no siempre son evidentes en otros enfoques de planeación (v.g. planeación urbana y regional con base en unidades político administrativas). En este sentido, la incorporación del enfoque de cuenca al Ordenamiento Ecológico permitiría no sólo esclarecer y robustecer los criterios de planificación del territorio a escala regional, sino que impactaría directamente en el fortalecimiento de la herramienta de política ambiental más poderosa para incorporar criterios de sustentabilidad en la planificación y organización tanto de las actividades productivas, como de la distribución territorial de la población, según la integridad y potencialidad de los recursos naturales de cada una de las porciones del territorio mexicano (INE, 2000).

Pese a la complementariedad percibida *a priori* entre ambos enfoques, cada uno de ellos responde a lógicas analíticas distintas. La mayor divergencia está en la manera de concebir y dividir al territorio y de estudiar su problemática. Por esta razón, la incorporación del enfoque de cuenca como mecanismo de fortalecimiento del Ordenamiento Ecológico precisa de un análisis detallado del trasfondo metodológico y conceptual de ambos; de la identificación a lo largo de todo el proceso de OE de aquellos espacios en donde resulte pertinente –y posible- la incorporación de criterios de cuenca; y de las fuentes de información y procedimientos para llevarla a cabo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio comprendió dos fases, la primera consistió en una investigación exploratoria y la segunda en el diseño de un conjunto de temas y variables que pudieran servir como insumo para la incorporación del enfoque de cuenca a los Términos de Referencia del Ordenamiento Ecológico del Territorio, en su modalidad regional y local.

#### Fase 1. Investigación cualitativa exploratoria

Esta fase tuvo como objetivo recopilar información pertinente sobre el enfoque de cuenca y seleccionar los criterios *ad hoc* a las fases de CARACTERIZACIÓN y DIAGNÓSTICO que comprende el programa de Ordenamiento Ecológico a escala regional. Durante esta fase se llevaron a cabo las siguientes actividades: a) la documentación teórico metodológica del enfoque de cuenca, tomando como referencias diferentes investigaciones sobre temas biofísicos, socioeconómicos y de la dinámica institucional de las cuencas; b) se revisaron las obras de referencia más destacadas<sup>5</sup> que sientan las bases conceptuales del enfoque de cuencas, presentándolo como un dispositivo analítico pertinente para la planificación del territorio y sus recursos y c) la revisión de la Propuesta de actualización de los Términos de Referencia para la Formulación de los Programas de Ordenamiento Ecológico Regional y Locales e identificación de ventanas de oportunidad para la incorporación de criterios de cuenca.

#### Fase 2. Integración de la matriz de variables con enfoque de cuenca en las etapas de caracterización y diagnóstico

La segunda fase de la investigación tuvo como objetivo rescatar y sistematizar experiencias de aquellos OE regionales existentes que durante su elaboración hayan incorporado en mayor o menor medida el enfoque de cuenca. Los OE regionales revisados fueron: (i) Cuenca Coapa; (ii) Subcuenca Rio Lagartero; (iii) Cuenca Coyutlán; y (iv) Tuxpan.

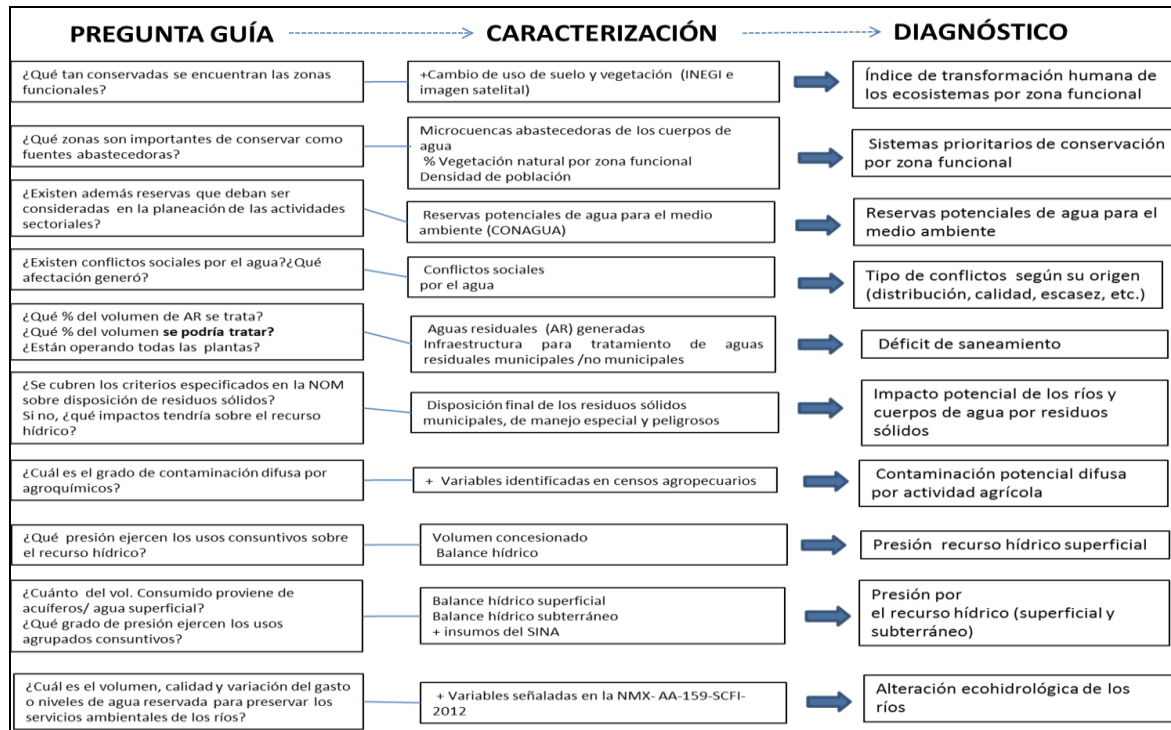
Lo primero que llamó nuestra atención fue la diferencia tan grande que existía en el tamaño de las UGA entre un ordenamiento y otro, y aun dentro de un mismo ordenamiento. Dado que para el enfoque de cuenca la delimitación territorial con criterios hidrológicos es fundamental, surgió la pregunta de ¿cómo y con qué criterios se delimitan las unidades de gestión ambiental? Para responderla, intentamos integrar una tipología de UGA, clasificándolas según sus criterios de definición y la justificación metodológica de la delimitación superficial utilizada. Sin embargo, encontramos que no todos los ordenamientos hacen explícita esta parte del proceso, por lo que no fue posible establecer una clasificación completa de criterios de definición.

Una vez identificadas las ventanas de oportunidad para incorporar el enfoque de cuenca al OE, así como los temas más relevantes y el tipo de variables *ad hoc* para las dos etapas estudiadas del proceso de OE, se diseñó una matriz de temas y variables para incorporar de manera puntual el enfoque de cuenca al OE y se hicieron comentarios a la propuesta de actualización de los términos de referencia en elaboración. La matriz y comentarios se presentan en el apartado de resultados, y se sintetizan en el Cuadro 1.

En el esquema se representa un conjunto de preguntas guía (columna izquierda) que orientan la caracterización de la cuenca o subcuenca (s) de estudio a partir de diferentes aspectos tales como: (a) conservación o deterioro de las zonas identificadas como potenciales de recarga de agua; (b) reservas de agua para el medio ambiente; (c) conflictos sociales que tengan como tema central el agua (ya sea por contaminación, por distribución, por escasez o por la interrupción de algún cauce debido a la construcción de infraestructura hidráulica); y (d) el agua disponible y la distribución de ésta entre los diferentes usos y usuarios. Esta caracterización se retoma en la fase de diagnóstico en forma de variables que permiten emitir un juicio sobre (i) los territorios que por su relevancia para el funcionamiento ecohidrológico de las cuencas o subcuencas deban ser protegidos no sólo *in situ*, sino a través de la orientación de actividades compatibles en los territorios aledaños; (ii) los impactos potenciales de los diferentes usos consuntivos en términos de calidad y presión sobre el recurso; y (iii) el grado de alteración ecohidrológica que presenten los ríos.

<sup>5</sup> V.g. Heathcote, 1998; Davenport, 2003; Sabatier et. Al., 2005, entre otros.





Cuadro 2. Esquema conceptual

### 3. RESULTADOS

A partir de los documentos revisados y de las reuniones de trabajo sostenidas con la DMCyA y con DGPAIRS, se delinearon los temas y variables con enfoque de cuenca que se podrían incorporar en la etapa de caracterización y diagnóstico de los ordenamientos ecológicos regionales y locales.

Temas y variables seleccionados para la etapa de Caracterización

El Artículo 42 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Ordenamiento Ecológico (ROE) señala que la etapa de caracterización “[...] tendrá por objeto describir el estado de los componentes natural, social y económico del área de estudio”. La información recolectada en esta etapa se agrupa en 4 grandes acciones: delimitación del área de estudio, identificación y descripción de los atributos ambientales que reflejen los intereses sectoriales dentro de dicha área, identificación de atributos e intereses con participación social, y establecimiento de criterios para identificar prioridades entre los atributos ambientales e intereses sectoriales (DOF 08/08/2003).

Con esta base, en el estudio se consideró que para lograr incorporar el enfoque de cuenca en la etapa de caracterización, debiera comenzarse por la identificación de las subunidades o zonas funcionales que conforman la cuenca. Una vez delimitada la cuenca en términos de sus subunidades, es necesario identificar los atributos ambientales de estas y sus procesos (lo que correspondería a una caracterización biofísica).

Es importante definir también a los actores económicos (actividades productivas predominantes),

institucionales (unidades político administrativas), sociales (grupos específicos, conflictos por el agua, etcétera) y demográficos (centros de población), y espacializarlos en función de la dinámica de las cuencas (p.e. describir a los sectores económicos predominantes por zona funcional para identificar los intereses sectoriales presentes en la zona de estudio). Pensándolo como un proceso secuencial, la caracterización se realizaría en este orden (1) identificar y describir las subunidades que la integran; (2) definir, identificar y espacializar a los actores socioeconómicos que la impactan; (3) describir los principales elementos que comprometen el funcionamiento equilibrado de la dinámica hídrica; y (4) definir criterios que permitan priorizar acciones a partir de la conciliación entre atributos ambientales e intereses sectoriales.

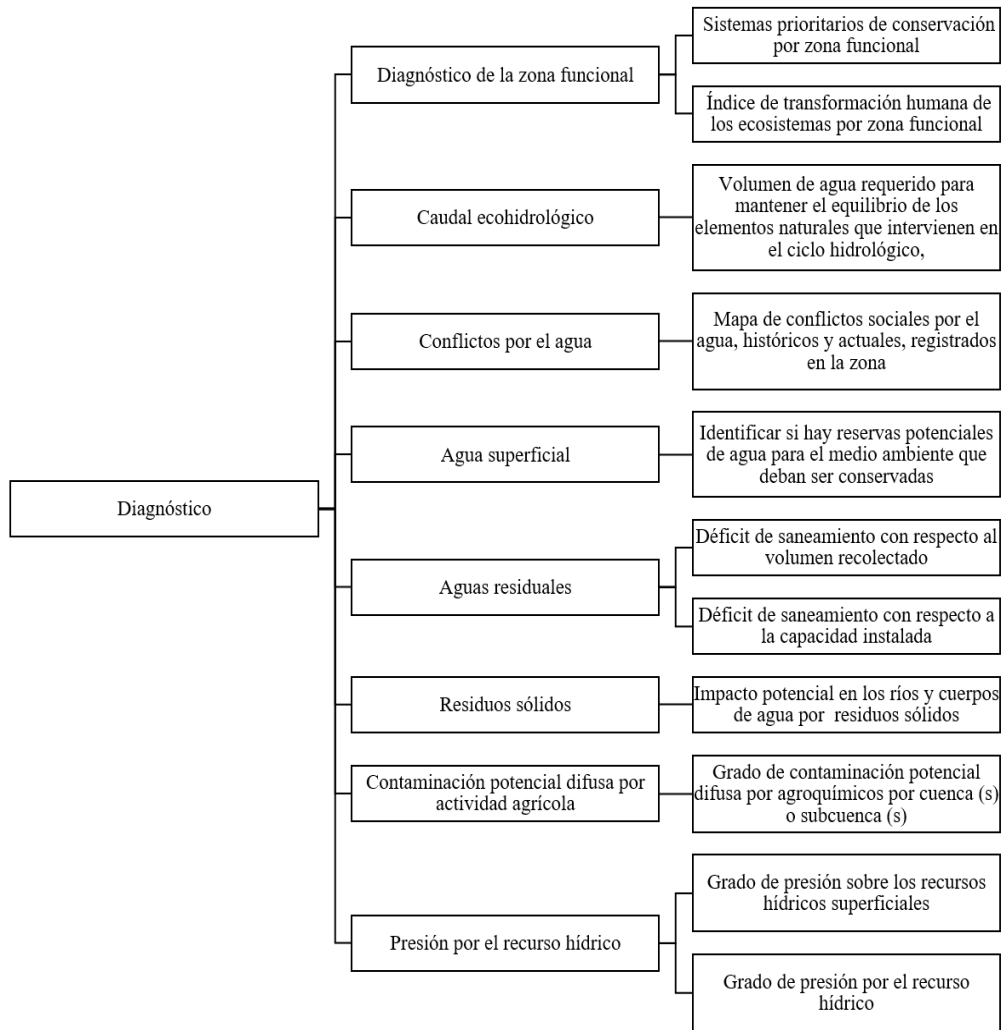
Tomando en cuenta esto, se diseñó una matriz de caracterización donde se proponen siete temas (o conceptos) acompañados por variables que permiten ir incorporando información de la dinámica ecohidrológica que pueda ser usada después para establecer los criterios de priorización. Por ejemplo, para la delimitación del área de estudio, se incorporaron como conceptos los siguientes: (i) municipios que integran la cuenca; (ii) proporción de la cuenca contenida dentro de un municipio; y (iii) delimitación y caracterización de las zonas funcionales. Las variables asociadas a cada concepto van desde datos sociodemográficos (población por cuenca o subcuenca, etc), pasando por la espacialización de los actores (localidades por zona funcional, índice de urbanización, densidad poblacional, etcétera) hasta condiciones ambientales de las zonas funcionales (porcentaje de vegetación natural).

Para caracterizar el estado del recurso hídrico, se incluyeron los temas de agua superficial y agua subterránea. El objetivo de incorporar el tema de agua subterránea es describir la condición de los acuíferos coincidentes con la zona a ordenar. El objetivo de incorporar el tema del agua superficial es identificar el sistema hídrico que más agua aporta a los cuerpos de agua, y conocer la disponibilidad de agua en la (s) cuenca (s) o subcuenca (s). Esto finalmente podría llevar a priorizar los usos que mantengan la calidad y cantidad del flujo de agua (ej. conservación y preservación).

#### Temas y variables seleccionados para la etapa de Diagnóstico

Una vez caracterizada la dinámica hidrológica, es importante priorizar aquellos sistemas hídricos que preserven los bienes y servicios ambientales de la zona (ver Cuadro 2). Para mantener la función ecohidrológica de las cuencas no solo es importante asegurar un volumen mínimo en los ríos, también es necesario que se conserven aquellas zonas que juegan el papel de fuentes abastecedoras, de recarga y de estabilización del sistema. Para inferir los impactos directos a la calidad del agua de un sistema hidrológico, es importante determinar la capacidad aproximada de tratamiento de aguas residuales. Por ello se sugiere que además de conocer el volumen que se genera, se determinen posibles déficits de saneamiento con respecto al volumen recolectado y a la capacidad instalada. Otros impactos importantes a considerar son los generados de manera indirecta, ya sea por externalidades asociadas a actividades productivas, tales como la contaminación potencial difusa por agroquímicos; o por mal manejo de residuos.

Para que las actividades sectoriales puedan seguir desarrollándose es importante no solo asegurar la concurrencia espacial y la compatibilidad territorial, sino la forma en que los diferentes usos ejercen presión sobre los recursos comunes en una cuenca, en éste caso el agua. Por esta razón se propone como variable el grado de presión que los diferentes usos consuntivos ejercen sobre el agua superficial, y sobre el agua subterránea. Consideramos que este punto está muy relacionado con la identificación y resolución de los conflictos sociales por el agua. El enfoque de cuencas resulta particularmente útil en la identificación y análisis de los conflictos sociales por el agua porque, una vez espacializados, permite fácilmente reconocer a los actores involucrados y su posible papel en el conflicto (responsables-afectados). Para ello es importante determinar el origen del conflicto en términos de distribución, calidad o escasez del agua.



Cuadro 3. Temas y variables seleccionadas para la etapa de diagnóstico

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La adopción de este enfoque en el ejercicio de ordenamiento ecológico es posible no sólo a escala regional, sino local. Si desde la etapa de caracterización incluyen los aspectos que describan la dinámica hídrica y aquellos atributos asociados al territorio que contribuyan a entender y preservar el equilibrio ecohidrológico de las cuencas, entonces será mucho más sencillo emitir juicios sobre el estado de conservación o deterioro de los recursos hídricos en la etapa de diagnóstico. Asimismo, en esta etapa comienzan a vislumbrarse elementos cualitativos que podrían reforzar a nivel local el análisis de conectividad entre las Unidades de Gestión Ambiental, facilitando, por ejemplo, el entendimiento de los impactos acumulativos que se observen en el territorio.

Tomando en cuenta que el principal objetivo del ejercicio de ordenamiento es la resolución de conflictos, entendemos que la imposición de un enfoque de esta naturaleza no será posible en todos los casos. Sin embargo, consideramos que poner sobre la mesa de discusión el carácter de interconexión de las actividades sectoriales a partir del análisis de la dinámica hidrológica de una cuenca o subcuenca (s) constituye una



**IV CONGRESO  
NACIONAL**

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

**2016**  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

ventana de oportunidad para que los actores se apropien de una visión más integral del territorio. Pensamos incluso que la adopción de este enfoque puede resultar un incentivo fuerte para alinear las actividades económicas a objetivos ecohidrológicamente favorables.

Los temas y variables sugeridos no representan un mayor esfuerzo del que actualmente se hace en las etapas de caracterización y diagnóstico, pero sí direccionan estos esfuerzos y aumentan la coherencia interna entre ambas etapas, haciendo que la información que se integra en la primera etapa constituya un verdadero insumo para la segunda; asegurando ordenamientos ecológicos con un enfoque más integral del territorio.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este ejercicio se vio fortalecido por la colaboración intra sectorial de la Dirección de Manejo de Cuencas y Adaptación del INECC, con la participación de la Dra. Helena Cotler Ávalos, el M. en C. Daniel Iura González y la Dra. Verónica Bunge Vivier, y la DGPAIRS de la SEMARNAT, con la participación del Mtro. Salomón Díaz.

El trabajo fue financiado por el INECC bajo el contrato: INECC/ADA-006/2014, desarrollado durante los meses de mayo a noviembre de 2014. La versión en extenso de la consultoría puede consultarse en [http://www.inecc.gob.mx/descargas/adaptacion/2014\\_prop\\_metodologica\\_incorporar\\_enfoque\\_ceuncas.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/adaptacion/2014_prop_metodologica_incorporar_enfoque_ceuncas.pdf)

## 6. LITERATURA CITADA

- Cotler, H. (*coord.*) 2010. Diagnóstico integrado de las cuencas hidrográficas nacionales. Instituto Nacional de Ecología- Fundación Gonzalo Río Arronte. México, 232 p.
- \_\_\_\_\_ (*comp.*) 2007. El manejo integral de cuencas en México. 2da. Ed. Instituto Nacional de Ecología. México, 347 p.
- Cotler, H. y Caire G. 2009. Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México. Instituto Nacional de Ecología. México, 380 p.
- Davenport, T. E. 2003. Watershed Management Guide. The Watershed Project Management Guide. Lewis Publishers, EUA, 296 p.
- DGPAIRS 2013. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. Ordenamiento Ecológico. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En: <http://web2.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Paginas/OrdenamientoEcol%C3%B3gico.aspx> Fecha de consulta: el 29 de abril del 2014.
- Heathcote I. 1998. Integrated watershed management. Wiley & Sons Inc. EUA, 414p.
- INE 2000. El Ordenamiento ecológico del territorio. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. Instituto Nacional de Ecología-Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto ambiental. México, 174 p.
- LGEEPA. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente 2014. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, México.
- DOF Diario Oficial de la Federación 08/08/2003 Reglamento de la Ley General del Equilibrio



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Ordenamiento Ecológico. México, 24 p.

- Sabatier P., Focht W., Lubell, M. Trachtenberg, Z., Vedlitz, A. y Matlock, M. 2005. Collaborative approaches to watershed management. Massachussets Institute of Technology, Boston, EUA, 327 p.
- SEMARNAT 2010. Términos de referencia para la formulación de los programas de Ordenamiento Ecológico Regional. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental- Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- \_\_\_\_\_ 2014 Términos de Referencia para la formulación de los programas de Ordenamiento Ecológico Regional y Locales. Versión 2015. *En revisión*.





IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 218. Enrique A. Sánchez Camacho. UNA PROPUESTA PARA EL REORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RIO SONORA.

[Regresar al índice](#)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532; Jiutepec, Morelos;  
esanchez@tlaloc.imta.mx

## RESUMEN

El río Sonora localizado en la Región Hidrológico Administrativa II, Noroeste; tiene en su cauce principal una longitud aproximada de 420 km y su área de cuenca se estima en 28,950 km<sup>2</sup>; en tanto su aporte hídrico anual promedio es de unos 171 millones de m<sup>3</sup>. La zona de estudio está ubicada en la parte árida del país, ello implica que su precipitación media está por abajo de la precipitación promedio nacional, lo que tiene como consecuencia inmediata que la fuente principal de abastecimiento es el agua subterránea.

Es evidente la enorme presión sobre el recurso hídrico en la cuenca del río Sonora a consecuencia de las actividades que lo requieren, principalmente: agua potable para la población, agua para riego y actividades pecuarias; las dos primeras son las principales rectoras en las acciones a seguir por su importancia dentro del sistema de cuenca.

La ciudad de Hermosillo capital del estado de Sonora y el Distrito de Riego (DR) 051, son los principales actores dentro del sistema, y este último el mayor consumidor del recurso. La atención a la demanda de ambos actores atiende en gran medida el desbalance que existe actualmente en la cuenca.

La ciudad de Hermosillo se abastece de cuatro de los diez acuíferos que existen en el sistema, además de una fuente externa (acueducto Independencia) y de la infraestructura existente para agua superficial (presas El Molinito y Abelardo Rodríguez L.); como información adicional comparte con el DR 051 una de sus fuentes: el acuífero Costa de Hermosillo, que es la fuente subterránea más grande del sistema de cuenca.

Bajo este marco se empleó la plataforma Water Evaluation and Plannig System (WEAP), para construir un modelo de gestión en el interactúan las fuentes de abastecimiento y los sitios de demanda del sistema de cuenca, con la intención de delinear de manera indicativa la posibles soluciones a la problemática actual. Las posibles soluciones pasan por eliminar el déficit en los sitios de demanda, el uso de la fuentes subterráneas hasta el límite de su recarga y el suministro de caudal ecológico hasta donde lo permite la distribución de los escurrimientos naturales en los tres cauces principales de la cuenca.

**Palabras clave:** Gestión Integrada, Planificación, Modelo de Gestión, Cuenca río Sonora.

## 1 INTRODUCCIÓN

Históricamente los asentamientos humanos más estables en el Estado de Sonora, se han dado en la cuenca del río Sonora, la causa principal de ello fue el volumen de agua que escurría por el río Sonora; este hecho permitió subsistir a las localidades ahí asentadas bajo el esquema de producción agrícola desde tiempos anteriores a la llegada de los españoles; agregando el cultivo del trigo ( periodo otoño-invierno) que no

competía con el cultivo local del maíz ( periodo primavera-verano), así como la ganadería semi-intensiva luego de la llegada de éstos últimos a la zona.

Las fuentes hídricas de la cuenca del río Sonora, es factible separarlas en dos tipos: las superficiales y las subterráneas; como hecho singular se anota que los polígonos aceptados como límites para las fuentes subterráneas coinciden significativamente con el parteaguas de toda la cuenca del río Sonora.

Desde la perspectiva de la hidrología de superficie, la cuenca del río Sonora está dividida en cuatro cuencas, Río Sonora 1, Río Sonora 2, Río San Miguel y Río Sonora 3 (**Figura 1**), lo anterior de acuerdo con el Sistema de Información Geográfica de Cuencas y Acuíferos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA 1).

Como es visible, la delimitación obedece por un lado a la posición de los ríos más importantes en la zona de estudio, y por otra a la confluencia de los mismos y también a la posición de infraestructura colocada sobre sus cauces para aforo de los mismos. Esto es, la cuenca Sonora 1 inicia en el nacimiento del río Sonora y termina en la estación hidrométrica El Orégano II, la cuenca Sonora 2 va desde las estaciones hidrométricas El Orégano II y El Cajón hasta la presa Abelardo Rodríguez L., la cuenca Sonora 3 comienza en la presa Abelardo Rodríguez L. y termina en la desembocadura en el océano Pacífico; y la cuenca del río San Miguel va de su nacimiento hasta la estación hidrométrica El Cajón.

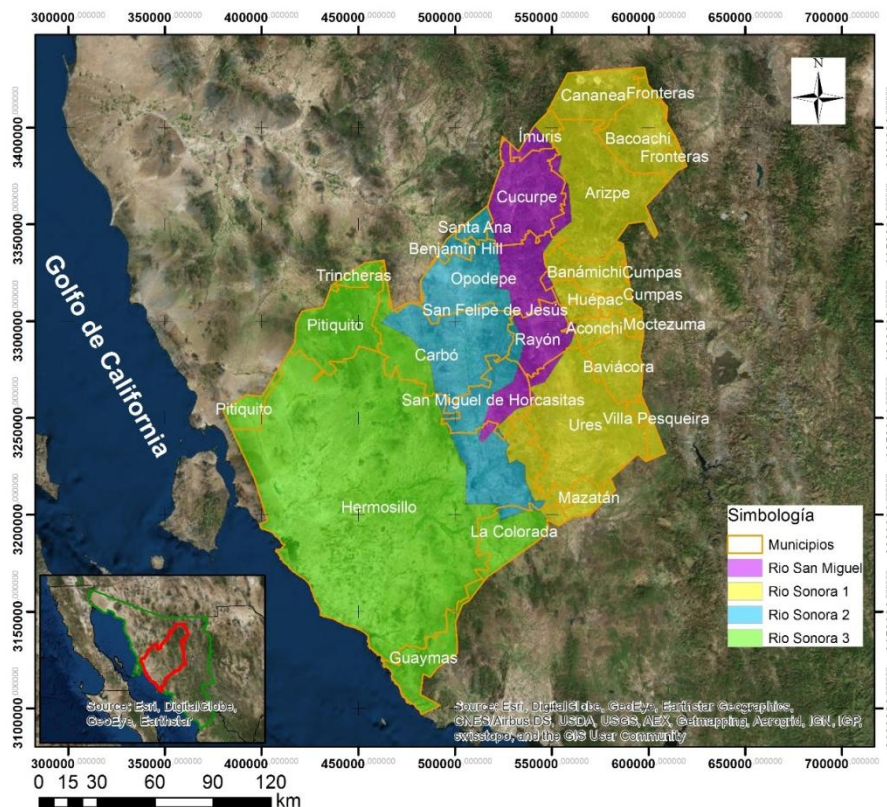


Figura 1. Cuenca del río Sonora.



En cuanto a las fuentes subterráneas se tienen diez acuíferos dentro de la cuenca del río Sonora, como se mencionó líneas arriba el de mayores dimensiones es el acuífero denominado Costa de Hermosillo (**Figura 2**). En parte por su tamaño y otra por su ubicación, esta fuente se convirtió en el impulsor de la agricultura en la cuenca, en el generador de riqueza, pero también en el factor de desequilibrio.

Actualmente, la ciudad de Hermosillo con la población más grande en el estado, ha aumentado su demanda de agua, y el suministro a la cuenca vía precipitación ha decrecido, la mayor evidencia de esto último son los almacenamientos registrados en sus dos embalses los últimos años (ver **Figura 3**).

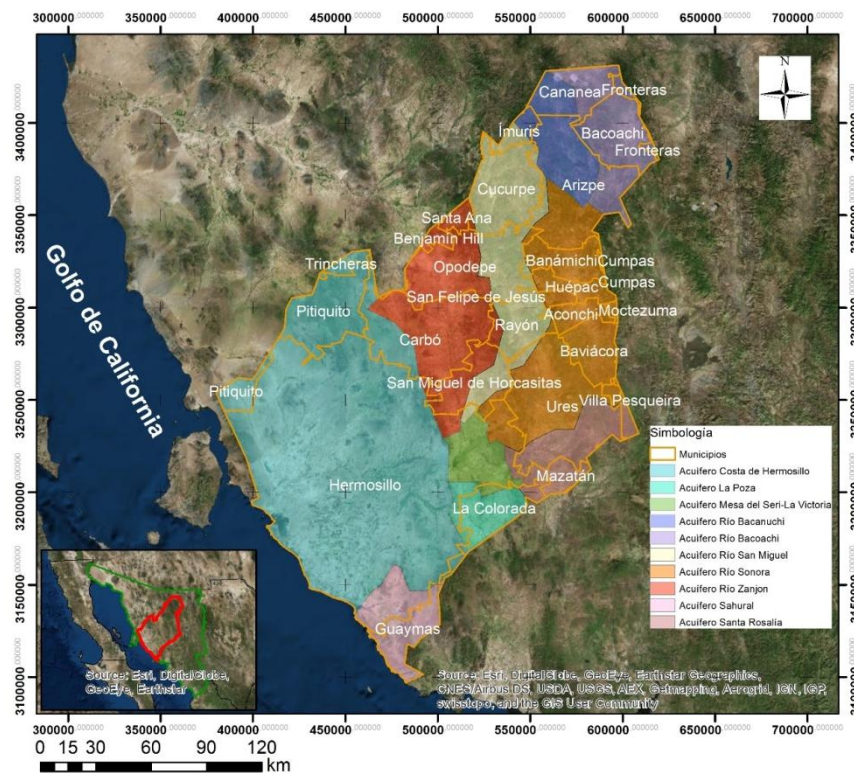


Figura 2. Acuíferos en la cuenca del río Sonora.



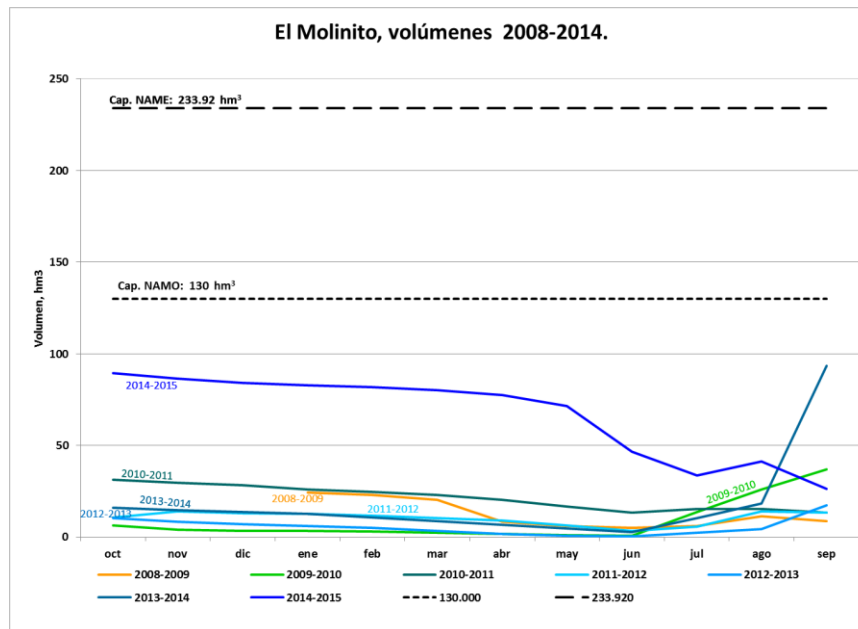


Figura 3. Evolución de los almacenamientos mensuales en la presa El Molinito de octubre 2008 a septiembre 2015.

El régimen del río Sonora ha pasado de perenne a intermitente, e incluso efímero en algunas de sus secciones- aunque este último estado debe ser normal en algunos puntos considerando que la cuenca está en una zona semi-desértica- ; el cálculo de la disponibilidad de agua superficial para las cuencas Río Sonora 1, Río San Miguel y Río Sonora 2 están clasificadas con déficit (Diario Oficial de la Federación, 2016), lo cual da cuenta y corrobora lo antes señalado por la vía oficial.

En cuanto a las fuentes subterráneas, la situación no es muy diferente, de acuerdo a la disponibilidad que informa la CONAGUA (Disponibilidad del Agua Subterránea D.O.F 2015) para los acuíferos ubicados dentro de la cuenca del río Sonora. De los diez acuíferos, la mitad de ellos están clasificados con disponibilidad, y solo tres de ellos tienen establecida una disponibilidad por arriba del millón de metros cúbicos (río San Miguel, río Sonora y Santa Rosalía).

Este escenario poco alentador tiene más de una posible causa, dos que se plantean en un informe oficial son: 1. Mala administración del agua o, 2. Mal manejo de la cuenca (CIAD, SEMARNAT, CONAGUA 2013), y en ambos casos –mejorar la administración o mejorar el manejo de las tierras en la cuenca del río Sonora- requiere de la participación de la población, en especial de la participación de los usuarios del agua.

En otra perspectiva más compleja por las variables que incluye, es la hipótesis propuesta por Jose Luis Moreno (Moreno 2007), que se centra en la historia del acuífero Costa de Hermosillo; Moreno señala que la explotación de esa fuente en forma poco ordenada hizo posible la apertura de 70 mil hectáreas al cultivo en una década, y que esto obedeció principalmente para que un grupo reducido de familias se enriqueciera, con una forma de extraer el agua que él califica de minera, esto es, extraerla hasta terminar con ella con el objetivo de obtener el máximo beneficio económico. Situación que ha permanecido hasta nuestros días, con la intrusión salina en la fuente subterránea más grande del sistema, como una de las pruebas de ello.

En el presente se plantea una posible solución al desequilibrio evidente que existe en la cuenca, apoyada en la información a ese mismo nivel –cuenca-, teniendo como objetivo que la solución planteada abone al

ordenamiento y sustentabilidad en la gestión del recurso hídrico en la cuenca; en la inteligencia que existen variables de tipo social, económico y político que una solución como la aquí planteada no involucra, toda vez que ellas se abordan con herramientas diferentes a las aquí presentadas.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

A través de un modelo de gestión para la cuenca del río Sonora, se establece una visión general y cuantitativa de los recursos hídricos de superficie y subterráneos junto con las necesidades del recurso dentro de la cuenca del río Sonora.

Este ejercicio permite delimitar las condiciones en las cuales funciona el sistema, las cuales a su vez explican al nivel de cuenca el funcionamiento del sistema en su conjunto; con esta perspectiva y sin llegar a detalles operativos que las más de las veces vuelven abstrusa cualquier explicación, se proponen acciones que apuntan al equilibrio cuenca-acuífero, que es implícitamente el objetivo del modelo.

La herramienta informática elegida para realizar la tarea antes descrita es la plataforma Water Evaluation and Planning (WEAP) o Sistema de Evaluación y Planificación del Agua, la cual posee un enfoque integral para la evaluación de recursos hídricos, sustentada en una base de datos conformada por la información de demanda y suministro, necesaria para manejar el modelo de balance de masa en una arquitectura de nodo-enlace.

A través de ella es posible la asignación de recursos hídricos para uso agrícola, municipal y ambiental, considerando la integración completa de la demanda (incluido el caudal ecológico), el suministro y la calidad del agua.

La plataforma WEAP es desarrollada por el Stockholm Environment Institute; otras de sus características relevantes son:

- Estima la demanda, oferta, escurrimiento, infiltración, requisitos para las cosechas, flujos y almacenamiento del agua, y generación para diferentes escenarios hidrológicos y de políticas de operación.
- Evalúa diferentes opciones de desarrollo y manejo del agua, tomando en cuenta los múltiples y opuestos usos de los recursos hídricos. (WEAP)

Para la construcción del sistema del río Sonora se incluyeron los siguientes usos:

- Caudal ambiental en los tres principales ríos de la cuenca, esto es, río Sonora, río San Miguel y río Zanjón.
- Abastecimiento de agua potable, que incluye usos urbanos e industriales, en quince localidades dentro de la cuenca.
- Abastecimiento para uso agrícola, en doce zonas consideradas para estos fines, incluido el DR 051.

Es pertinente señalar que se consideró como horizonte de planificación hasta el año 2030, con lo cual se incluyeron proyecciones de incremento de población en cada una de las quince localidades de la cuenca de acuerdo a las tasas que publica la Comisión Nacional de Población; pero también se consideró una reducción gradual por año en el porcentaje de pérdidas de cada uno de esos sistemas de distribución de agua potable; en particular para la ciudad de Hermosillo se pretende llegar al 10%.





Por otra parte se planteó el uso de las fuentes de la forma más racional, en el caso del acueducto Independencia- agua proveniente de la cuenca vecina, específicamente de la presa El Novillo-, utilizarlo cerca de su capacidad máxima instalada, y en el caso de las fuentes subterráneas, que su extracción máxima se acota al valor de su recarga oficial.

Los criterios generales establecidos dentro del modelo de gestión son:

- i. El agua potable tiene prioridad en la demanda sobre otros usos a excepción del ambiental.
- ii. La ciudad de Hermosillo primero utiliza las fuentes superficiales (embalses) y después los acuíferos.
- iii. El caudal ambiental se establece como otra demanda y su prioridad es uno.
- iv. El caudal ambiental se extrae de acuerdo al flujo restituido en los cauces.
- v. La demanda de agua agrícola superficial, considerando que es un valor medio y anual de disponibilidad en el REPDA, se extrae del caudal restituido.

El modelo de gestión de la cuenca del río Sonora cuenta con cinco tipos de elementos:

1. Río; permite la representación de los ríos Zanjón, San Miguel y Sonora.
2. Embalse; permite la representación de las presas El Molinito y Abelardo Rodríguez L.
3. Agua subterránea; permite la representación de cada uno de los diez acuíferos ubicados dentro de la cuenca del río Sonora.
4. Otras fuentes; permite representar al acueducto Independencia y, al acueducto que abastece desde fuera de la cuenca a la población de Cananea.
5. Sitio de demanda; permite representar las 15 localidades, 11 zonas agrícolas y la demanda de caudal ecológico en cada uno de los tres ríos principales.
6. Planta de tratamiento; permite representar a la planta que en 2016 se puso en funcionamiento para tratar las aguas residuales de Hermosillo.
7. Conducciones; permite representar las conducciones que conectan a los elementos antes mencionados, y que son los responsables de la modificación del balance general.

Como constante en la construcción del modelo se tiene que existe una zona agrícola por acuífero y dicha zona tiene como fuente de abastecimiento al acuífero donde está asentada.

En los acuíferos Santa Rosalía y Sahuaral el esquema es el más sencillo, al tener una fuente y un sitio de demanda, que en este caso es una zona agrícola.

En los acuíferos restantes, dicha fuente tiene que abastecer al menos a dos sitios de demanda, una zona agrícola y una localidad. Los esquemas más complejos son el del acuífero del río Sonora que abastece a seis localidades y una zona agrícola, y el acuífero del río San Miguel que abastece cuatro localidades más Hermosillo y una zona agrícola.

Desde la perspectiva de los sitios de demanda, el arreglo más complejo corresponde a las fuentes que abastecen a la ciudad de Hermosillo. Inicialmente es abastecida por cuatro acuíferos: Costa de Hermosillo, La Poza, Mesa de Seri-La Victoria y San Miguel, como fuente externa tiene el acueducto Independencia, y en algún caso se planteó una planta desalinizadora; como fuentes de agua superficial se dispone de los vasos de los embalses El Molinito y Abelardo Rodríguez L.

Adicional a estas conexiones, en los primeros escenarios para la ciudad de Hermosillo, su descarga de aguas residuales es directa para abastecer a los ejidos Villa de Seris, La Yesca y San Miguel; posteriormente con la inclusión de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Hermosillo, se presentan alternativas en el arreglo a la descarga del agua tratada de dicha PTAR. Esto es, una parte va a los ejidos Villa de Seris, La Yesca y San Miguel y la otra se envía al cauce del río Sonora, o bien se infiltra al acuífero costa de Hermosillo y se cancela la conexión de este acuífero con la ciudad de Hermosillo.

Finalmente los caudales ecológicos fueron implementados a través de los sitios de demanda, que solo durante un periodo del año solicitan a modo de demanda cierto volumen de agua que no consumen.

En la figura 4 se muestra el esquema general del modelo de gestión en su conjunto, donde los círculos de color rojo representan los sitios de demanda, los cuadrados verdes las fuentes subterráneas, los triángulos verdes las fuentes superficiales dentro de la cuenca, en tanto que la fuente externa solo se muestra su conducción como una línea verde horizontal, y el círculo color café representa la PTAR. El resto de líneas verdes son las conducciones entre los distintos elementos.

También es posible observar en un tono azul claro las trayectorias de los tres ríos principales de la cuenca, de oeste a este, el río Zanjón, el río San Miguel y el Río Sonora. Los polígonos diferenciados por diferentes formatos de achurado, denotan los límites aceptados para los diferentes acuíferos dentro de la cuenca.

### **3 RESULTADOS**

Se estableció como meta lograr el balance cuenca-acuífero desde la perspectiva hídrica, lo que significa que para lograr dicho balance es necesario se satisfagan todas las demandas al interior de la cuenca con las fuentes e infraestructura con la que se cuenta, durante todo el periodo de simulación, que en este caso es desde el año 2016 al 2030.

Lo anterior supuso varias modificaciones al interior de los elementos del sistema de cuenca, la mayor de ellas fue la reducción del volumen para el uso agrícola en más de una zona de riego, la reducción más drástica se dio en el DR 051 debido a que es el mayor consumidor dentro del sistema de cuenca y, que en las condiciones actuales consume aproximadamente 28% más del volumen de la recarga del acuífero costa de Hermosillo, que es su fuente de abastecimiento.

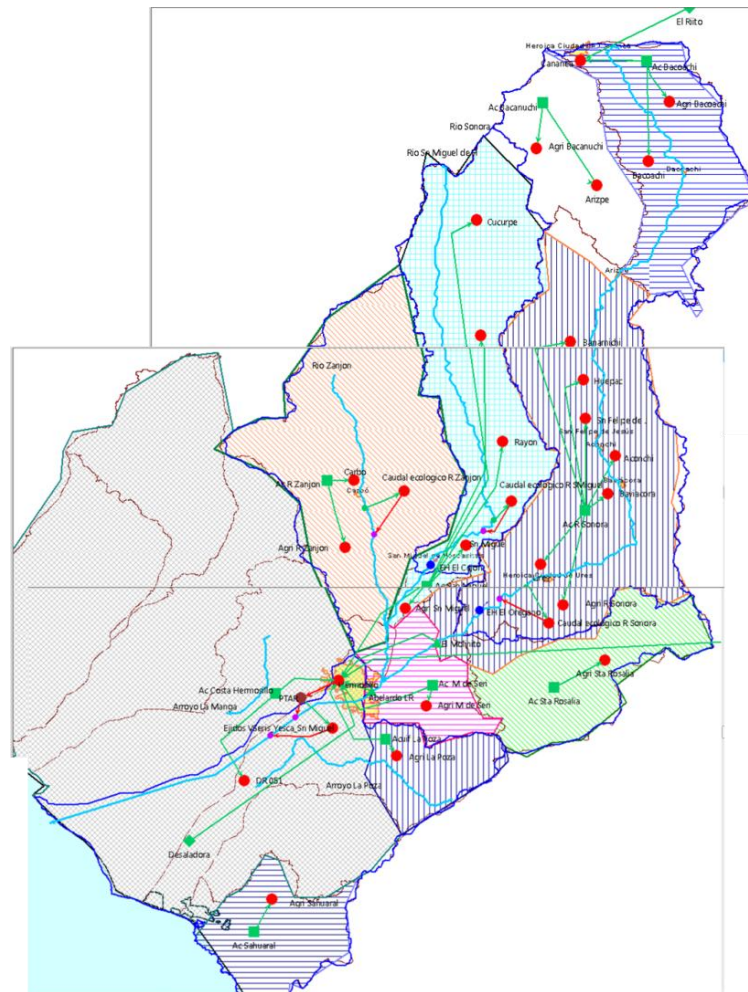


Figura 4. Esquema del modelo de gestión en la cuenca del río Sonora.

Asimismo se efectúa una reducción en las dotaciones por habitante en todas las poblaciones de la cuenca, que va acompañada de una reducción anual de pérdidas en el sistema de abastecimiento de agua potable, lo cual amortigua la reducción en la dotación, situación que de otro modo generaría un déficit importante en el abastecimiento urbano, por el incremento de población considerado en todas las localidades.

Por otra parte, debido a que una fuente existente de reciente inclusión en el sistema es el acueducto Independencia, este elemento se exploró en distintas alternativas, utilizando su capacidad de diferentes maneras, escalándola de manera gradual o bien de manera homogénea y constante.

Los caudales ambientales considerados en la cuenca fueron, río Sonora 7.6 hm<sup>3</sup>/año, río San Miguel 3.1 hm<sup>3</sup>/año y río Zanjón 7.9 hm<sup>3</sup>/año, los valores corresponden al 10% del escurrimiento promedio anual para cada una de esas corrientes.

Fueron construidas veintitrés alternativas, en forma compacta se muestran en el **Cuadro 1** donde es visible las variables de decisión que se modificaron en cada caso, ello con la finalidad de obtener una alternativa que permita desde el punto de vista hídrico calificar de equilibrada a la cuenca con sus acuíferos.

Cuadro 1. Resumen de alternativas.

		1	1a	2	3	3a	3b	3c	3d	4	4a	4b	4b'	4b''	4b'''1.8	4b'''	4b'''	4c	4c'	4c''	5	5'	5''	
Demanda DR 051 hm³		250	151	320	220	220	220	220	220	250	198	250	250'	250''	304	250'''	250'''	198	198'	198''	304	304'	304''	
Crecimiento población		El establecido por el CONAPO para el periodo 2015 a 2030 en cada una de las localidades																						
Pérdidas en SAP (%)		Las actuales		Reducción gradual en cada localidad																				
Acueducto Independencia		1.2 (m³/s)			1.8	2.4	1.2	2.4	1.8 (m³/s)						2.4	1.2	2.4 (m³/s)		1.2	1.8 (m³/s)				
Caudal ambiental		río Sonora 7.6 hm³/año, río San Miguel 3.1 hm³/año y río Zanjón 7.9 hm³/año																						
Desalinizadora		Sin						37.8 hm³/año						Sin		7.9 hm³/año	37.8 hm³/año	24.6 hm³/año	37.8 hm³/año		7.9 hm³/año			
Efluente de Hmo infiltrado		sin infiltración												1.5 m³/s		sin infiltración						1.5 m³/s		
Demanda UR		demanda actual					sin déficit		demanda actual		sin deficit													

En el encabezado en la primera fila se estableció la denominación para cada alternativa, el cero -que no aparece en el **Cuadro 1**- corresponde a las condiciones del año 2015, que como era de esperarse presentó significativos déficit en la cobertura de su demandas.

Las denominaciones construidas en forma secuencial -3a, 3b etcétera- se deben a la exploración del impacto en la variación del valor de algunas variables, manteniendo el valor de otras fijas, a fin de revisar que tan sensible es el sistema a la modificación de esas variables.

Otra fuente externa considerada fue la construcción de una desalinizadora, misma que desde la perspectiva en se abordó el presente ejercicio es válida como fuente, sin embargo siempre se consideró como un elemento de ensayo en el ejercicio por razones se discutirán en el siguiente apartado.

Varias de las alternativas construidas no tienen déficit en el suministro de sus demandas, sin embargo conllevan reducciones drásticas que necesariamente provocarían problemas de índole social, política o económica, por citar solo un ejemplo la alternativa 1a se reduce la demanda del DR 051 a menos de la mitad de su consumo actual.

Por otro lado está el asunto de satisfacer el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Hermosillo con más infraestructura, entonces las alternativas que incluyen la construcción de una desalinizadora también presentan un déficit cero en el suministro de sus demandas, pero la inclusión de la infraestructura mencionada no es cosa menor.

Con lo cual la alternativa que cumple sin déficit sus demandas, no reduce en forma drástica los consumos del DR 051 y no considera una planta desalinizadora como una de sus fuentes, es la 4b'' 1.8

En esta alternativa se reducen las pérdidas en el sistema de abastecimiento de agua potable para todas las localidades en la cuenca, el suministro del acueducto Independencia se fija en 1.8 m<sup>3</sup>/s en forma constante a la



**IV CONGRESO  
NACIONAL**

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

**2016**  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

ciudad de Hermosillo, el efluente de esta última se trata en la PTAR enviando 1 m<sup>3</sup>/s a los ejidos Villa de Seris, La Yesca y San Miguel, y 1.5 m<sup>3</sup>/s se inyecta al acuífero costa de Hermosillo.

Esto último genera dos situaciones importantes en la gestión del sistema, por un lado la ciudad de Hermosillo cancela su abastecimiento de esta fuente, que puede considerarse en promedio de 30 hm<sup>3</sup>/año –no hay valor fijo dado que intervienen fuentes superficiales en el abastecimiento de Hermosillo, por eso se señala es un promedio-, con lo cual ese volumen queda disponible para el DR 051.

Es decir, acotada la extracción del acuífero costa de Hermosillo a 250 hm<sup>3</sup>/año, el DR 051 solo podría acceder a 220 hm<sup>3</sup>/año, pero con el cancelamiento antes señalado tendría disponible la totalidad de la recarga, que se ve incrementada a 304 hm<sup>3</sup>/año por la inyección al acuífero del parte del efluente tratado de la ciudad de Hermosillo.

Se reduce el volumen para algunas unidades de riego, con el objetivo de eliminar el déficit en toda la cuenca.

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Cuantitativamente existen varias formas de conseguir no se presenten déficits en la cobertura de las demandas de la cuenca, y con ese hecho argumentar que la cuenca con sus acuíferos están en equilibrio; sin embargo como antes se anotó, algunas medidas para establecer ese equilibrio, trasladarían el problema a otros ámbitos o en el peor de las escenarios generarían un problema de mayor complejidad.

De ahí que, aunque en las alternativas simuladas se incluyeron medidas extremas como reducción sustancial del volumen para zonas de riego o la consideración de una planta desalinizadora como fuente de abastecimiento, fueron inclusiones que todo el tiempo se consideraron con reserva, a fin de evitar en lo posible inmediato anterior anotado.

La alternativa seleccionada y descrita en forma general –el espacio no permite mostrar la información que el modelo contiene en cada alternativa, en conjunto con la de sus resultados-, como ya se mencionó cumple con los criterios de acotamiento para su elección.

No obstante dicha alternativa de solución, carece de manera más específica a que o a quien dar el agua según la distribución obtenida, es un inicio hacia equilibrio cuenca-acuíferos; para clarificar un poco este punto, en el caso de la ciudad de Hermosillo esta comparte la fuente del acuífero río San Miguel con las cuatro localidades (Cucurpe, Opodepe, Rayón y San Miguel) de la cuenca del mismo nombre. Como la priorización del agua potable es uno, y las cinco localidades requieren de tal suministro, lo sencillo es que esa fuente suministre por igual a las cinco.

Pero la ciudad de Hermosillo tiene cuatro fuentes subterráneas y tres superficiales, se acepta que es la capital del estado y debe tener algunos privilegios –como ese número de fuentes-, pero es un equívoco abonar a ese tipo de asimetrías, por tal motivo en el modelo de gestión la fuente primero abastece a las cuatro localidades y después a la capital del estado.





**IV CONGRESO  
NACIONAL**

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

**2016**  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Otro asunto sobre la misma línea, en esta cuenca se produce de manera importante nuez (nogales) y uvas (vid mesa), ambos productos son altamente rentables; si se hace cualquier operación aritmética con su precio en el mercado, la cantidad que se siembra contra lo que se obtiene por unidad de superficie y cual variable se desee; invariablemente estos cultivos aparecerán como a los que se debe apoyar con absoluta certeza.

Pero una revisión más cuidadosa de quienes son los que poseen tales cultivos, y quienes tienen los cultivos menos rentables, puede darnos una perspectiva diferente de lo que la aritmética simple nos proporciona; apoyar con más recursos a quien ya tiene a cambio no dar a quien menos recursos posee, nos lleva a agudizar las asimetrías, que la experiencia nos dicta son fuente de conflictos y problemas.

Por ello lo aquí planteado, supone apenas la distribución cuantitativa del recurso hídrico a nivel cuenca para un equilibrio cuenca-acuíferos, con los recursos y la infraestructura que se tiene, considerando las variaciones más elementales, como el incremento de población; pero es necesario una revisión de las zonas que pueden tener una mejora sustancial con el recurso, así como los cultivos que cubran las necesidades locales y si fuera el caso nacionales.

## **5. RECONOCIMIENTOS**

La información del resumen de resultados es una parte de los resultados mostrados en el informe denominado “Reordenamiento de la cuenca del río sonora, con la identificación de los usos principales de agua y mediante el establecimiento de metas de aprovechamiento de cada uso, alternativas y estrategias para implantar el uso eficiente del recurso, priorizando el uso de consumo humano”, elaborado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, con la salvedad de que no se presenta la propuesta de solución que en ese informe se eligió como la mejor.

## **6. LITERATURA CITADA**

### **CONAGUA 1.**

- Sistema de Información Geográfica de Cuencas y Acuíferos, Comisión Nacional del Agua.
- <http://sigagis.conagua.gob.mx/aprovechamientos/> Consultado 1 Junio 2016.
- Diario Oficial de la Federación (2016). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México, 7 de Julio 2016
- Disponibilidad del Agua Subterránea (D.O.F. 20 de Abril de 2015). Comisión Nacional del Agua.
- <http://www.conagua.gob.mx/disponibilidad.aspx?n1=3&n2=62&n3=94>, consultado 1 Junio 2016.
- Moreno Vázquez Jose Luis (2007) *Por abajo del agua*. Sobre explotación y agotamiento del acuífero de la costa de Hermosillo 1945-2005. El Colegio de Sonora, Hermosillo Sonora, 507 pp
- CIAD, SEMARNAT, CONAGUA (2013), Programa detallado de acciones de gestión integral para la restauración hidrológica del río Sonora. 77 pp
- WEAP. Water Evaluation and Planning. Stockholm Environment Institute
- <http://www.weap21.org/index.asp?NewLang=ES>, consultado 1 Junio 2016.



**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: 62. Denisse León, Dolores Molina, M. Azahara Mesa-Jurado, Denise Soares-Moraes.. EL PAPEL DE LA PERCEPCIÓN INDIVIDUAL Y SOCIAL SOBRE EL DERECHO HUMANO AL AGUA Y SANEAMIENTO EN LA GENERACIÓN DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN EN LA SUBCUENCA DEL RÍO ALMANDROS (TACOTALPA).

[Regresar al índice](#)

Autores: Denisse LEON<sup>a</sup>, Dolores MOLINA<sup>b</sup>, M. Azahara MESA-JURADO<sup>c</sup>, Denise SOARES-MORAES<sup>d</sup>

<sup>a</sup> ECOSUR, Rancho Polígono 2-A, Ciudad Industrial, Campeche, deleon@ecosur.edu.mx

<sup>b</sup> ECOSUR, Rancho Polígono 2-A, Ciudad Industrial, Campeche, dmolina@ecosur.mx

<sup>c</sup> ECOSUR, Villahermosa-Reforma km 15.5 Ranchería Guineo, Tabasco, mmesa@ecosur.mx

<sup>d</sup> IMTA, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Morelos, denise\_soares@tlaloc.imta.mx

## RESUMEN

El reconocimiento internacional del derecho humano al agua y al saneamiento (DHAS) para uso personal y doméstico y su incorporación en la Constitución Mexicana en 2012, otorga a hombres y mujeres (titulares del derecho) un rol más activo en la gestión del agua. El papel que individuos y comunidades jueguen en los procesos de gestión para garantizar el ejercicio de su derecho dependerá en gran medida de su voluntad, conocimiento y de las condiciones o posibilidades locales, es decir, de la norma que prevalezca en el sistema social. Con el objetivo de analizar los retos que impone el ejercicio del DHAS en ecosistemas tropicales se propone un acercamiento etnográfico basado en la realización de entrevistas semiestructuradas a los responsables del cuidado familiar, mujeres y hombres que se encargan del abastecimiento y uso del agua en sus hogares. Las entrevistas recopilan información socioeconómica con el propósito de indagar el papel del género en la generación de estrategias, además de preguntas abiertas orientadas a identificar las percepciones individuales y colectivas sobre la calidad, disponibilidad y accesibilidad del agua, componentes básicos del derecho. En este estudio analizaremos la situación de Tomás Garrido, en el municipio de Tacotalpa. Durante las inundaciones acontecidas en los años 2007 y 2010 en el estado de Tabasco, esta localidad sufrió importantes daños en sus sistemas de saneamiento y captación de agua. Esto hizo que se seleccionara como caso de estudio en un escenario de cambio climático, pues la entidad federativa está incluida dentro de las regiones con mayor vulnerabilidad ante este tipo de desastres. Como resultados preliminares se destaca que la percepción generalizada de abandono por parte del gobierno ha generado dentro de la comunidad procesos de organización y participación social para solucionar el problema de la disposición de las aguas residuales y la disponibilidad de los servicios de agua y saneamiento. Son las mujeres quienes amortiguan la falta de disponibilidad y calidad del agua y presentan mayor riesgo de salud e integridad física por la falta de servicios de saneamiento.

**Palabras clave:** Género, norma sistémica, necesidades prácticas, necesidades estratégicas, desarrollo

## 1 INTRODUCCIÓN

El derecho al agua como un derecho humano garantiza que cada individuo disponga de un flujo constante y suficiente de agua, con una calidad definida a través de su aceptabilidad social y salubridad, y accesible en términos físicos, financieros, de información y directiva de no discriminación. Por otro lado, la reciente inclusión del saneamiento en esta misma categoría permite visibilizar la base sobre la cual se sostiene tanto la

suficiencia, como la calidad y la accesibilidad del recurso en el largo plazo (CEMDA, 2006; Dominguez-Sarrano, 2015; Justo, 2013; ONU, 2015).

Debido a ello, el reconocimiento internacional del derecho humano al agua y al saneamiento (DHAS) para uso personal y doméstico y su incorporación en la Constitución Mexicana en 2012 plantea varios retos en la legislación y política pública nacional. Entre ellos, pasar de las discusiones cuantitativas o técnicas a las valoraciones cualitativas en la prestación de ambos servicios; medir el cumplimiento de metas a nivel de individuos y comunidades, no de capacidad instalada, y otorgar a hombres y mujeres (titulares del derecho) un rol más activo en la gestión del agua (Giménez-Mercado & Valente-Adarme, 2010; Guendel González, 2002; ONU, 2013).

Además, la incorporación de temas como la seguridad, lo aceptable y lo adecuado, revela la problemática del ejercicio del DHAS en contextos de abundancia, espacios tradicionalmente olvidados por la política pública debido a la centralización en los problemas de escasez. Principalmente, en regiones donde la abundancia de agua ocasiona graves problemas económicos, sociales, políticos que pueden afectar el acceso, uso y calidad de los servicios públicos de agua y saneamiento (García-García, 2010, pp. 273-274).

### **Justificación**

Para lograr estos objetivos, se ha señalado la necesidad de adecuar el actual marco jurídico en materia de agua y saneamiento, una necesidad que pretende ser atendida mediante la promulgación de una nueva Ley General de Agua. No obstante, no se puede esperar que una mera formulación e implementación legislativa provoque un efecto sustancial en la capacidad de los individuos para mejorar su calidad de vida, y que esta situación sea sostenible en el largo plazo.

De acuerdo con Hydén (2008, p. 245), a partir de un análisis sociológico del derecho internacional público, la razón radica en la falta de correspondencia entre las leyes nacionales —que se estructuran a partir de la ratificación de un derecho o convención internacional— con las diversas lógicas y racionalidades o normas sistémicas que prevalecen en la sociedad. De forma aún más contundente, señala que si el objetivo es influir en el comportamiento de la población —en este caso, que de forma individual y colectiva se asuman como sujetos de derechos que pueden ser reclamados y como responsables de toda transformación social—, entonces lo primero es entender la forma en que se constituyen estas normas y cómo pueden ser cambiadas.

Amar-Amar, Macías-Ospino y Madariaga-Orozco (2005), desde la teoría de los derechos humanos abonan a la discusión señalando que el cumplimiento y defensa de los derechos humanos no depende únicamente del diseño jurídico de normas, del consenso político favorable, o de las formas de control existente. El ejercicio efectivo del derecho recae en el sentido que los pueblos les dan a los principios inherentes a cada derecho y cómo éstos se realizan en la vida diaria (p. 22).

En línea con estas argumentaciones, el interés de este documento se alberga en un cómo ir construyendo una legislación que garantice la equidad y la sustentabilidad teniendo como base las prácticas locales de gestión del agua y del saneamiento legítimas ante los ojos de sus practicantes y que ya se desarrollan y comparten con el fin último de garantizar su subsistencia y reproducción.

Para ello, se plantea una pregunta de investigación que permita analizar los primeros eslabones de la gestión del agua a escala local, el individuo y la familia, y su trascendencia a un nivel comunitario. En este sentido, la pregunta que orienta esta investigación es ¿cómo influye la percepción diferenciada de los usuarios sobre la disponibilidad, calidad y accesibilidad del agua y de los servicios de saneamiento para uso personal y doméstico en las estrategias de gestión del recurso presentes en la cuenca del río Almandros en el municipio de Tacotalpa, Tabasco?

La hipótesis que se formuló a partir de esta pregunta y a partir de la cual se articula esta investigación es que la percepción de los usuarios sobre la calidad, disponibilidad y accesibilidad del agua y los servicios de saneamiento estarán en función de sus necesidades prácticas, por lo cual, las estrategias de gestión local se encaminarán a resolver los aspectos donde los usuarios identifiquen fallas.

Si tenemos en cuenta que los usuarios son sujetos construidos socialmente, la hipótesis plantea dos cuestiones. En primer lugar un problema no va a ser un problema hasta que no sea percibido y construido socialmente como tal (Urquiza- Gómez y Cárdenas, 2015; Lezama, 2004), y en segundo la necesidad de incluir la categoría de género como una herramienta de análisis transversal (Singh, 2013).

### Objetivo general:

El objetivo general será analizar la realización del DHAS en un plano local a partir de la relación que se establece entre las percepciones diferenciadas de los titulares del derecho sobre disponibilidad, calidad y accesibilidad y las estrategias de gestión locales.

### Propuesta conceptual: la norma, el género y el DHAS

Para determinar la relación entre las percepciones y la generación de estrategias de gestión de los usuarios se seleccionó la norma, una estructura analítica construida por Hydén y Wickenberg (Hydén, 2008) a partir de Lundquist y Nitsch (Lundquist, 1987, 1992; Nitsch, 1996 cit. en Bergman 2008), y recientemente adaptada por Singh, Aström, Hydén, y Wickenberg (2008) y Singh (2013) para la incorporación del análisis de género.

La norma para los fines de esta investigación será entendida como la forma en que se entiende y comprende el contexto de una situación a partir de la cual se decide el modo en que el individuo actúa o se posiciona. Esta herramienta analítica consta de tres variables clave: la voluntad o el deseo (v), que es la primera figura que manifiesta la percepción del usuario; el conocimiento y la cognición (cn) que le permite emitir un juicio y valorar su potencial para transformar su realidad, y el conjunto de posibilidades o restricciones sistémicas (cs) (Hydén, 2008).

En relación a esta última variable, Bergman (2008) define tres ejes principales: el político, económico y tecnológico, mientras que Singh (2013) añade el sistema sociocultural y el componente administrativo al sistema político para analizar la relación entre la implementación- realización del DHAS en sociedades de la India caracterizadas por ser altamente jerarquizadas.

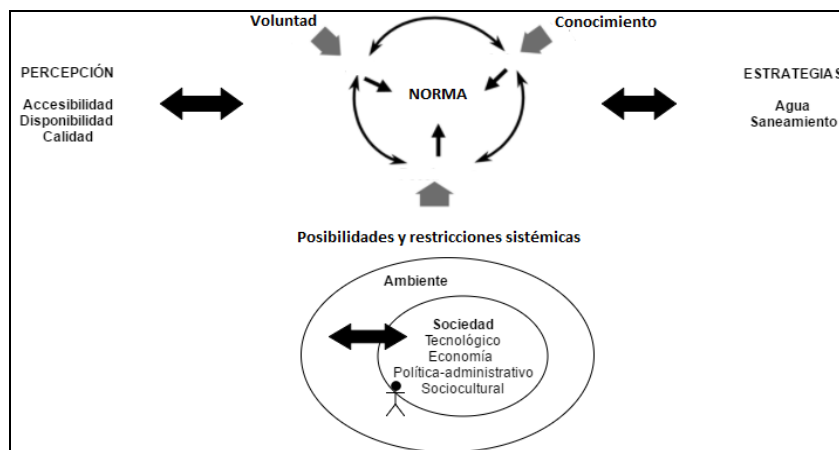


Fig. 1 Modelo de análisis.

Fuente: Modificada de Singh (2013) y Hydén (2008)

Esta investigación también retoma la perspectiva de género debido a la relación que se establece entre mujeres-agua y saneamiento. Por un lado, la falta de acceso a estos servicios afecta la salud, el ingreso y la educación de los usuarios en general, pero incide particularmente en las mujeres debido al papel central que juega el agua en la satisfacción de sus necesidades de género, y por otro lado, a pesar de que las reconoce



como actores clave para la adecuada provisión de los mismos continúan siendo ignoradas en los puestos de liderazgo y toma de decisiones (Bennett, Dávila-Poblete y Rico, 2005; Kabeer, 2006; Moser, 1989).

Esta situación es importante si se analiza desde un contexto de derechos humanos donde uno de los principales objetivos es garantizar la equidad entre los individuos y fijar un piso mínimo digno de necesidades que deben ser cubiertas. Por lo cual, el DHAS contempla tres grandes componentes: la disponibilidad (D), calidad (C) y accesibilidad (A).

La disponibilidad significa contar con una cantidad suficiente de agua para garantizar que se cubren las necesidades básicas y evitar riesgos de enfermedad; esta cantidad de agua es estimada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) entre los 50 y 100 litros diarios. En relación a la calidad del agua para uso doméstico, se exige la salubridad y la aceptabilidad; dichas variables implican respectivamente la ausencia de microorganismos, sustancias químicas y amenazas radiológicas, y un color, olor y sabor aceptables, y en relación a la calidad del saneamiento este debe ser aceptable (ONU, 2015).

De acuerdo con Justo-Bautista (2013), el tema de la accesibilidad en el DHAS es observable en cuatro grandes rubros: el físico, el económico, la no discriminación y el acceso a la información. En el caso de la accesibilidad física, los servicios deben encontrarse al alcance seguro de todos los sectores de la población dentro o en las inmediaciones de cada hogar, institución educativa y lugar de trabajo, y deben ser culturalmente apropiados y sensibles a los requerimientos de género, edad y privacidad, es decir, sin poner en riesgo la seguridad física (p. 19).

A esta definición, la ONU adiciona criterios mínimos susceptibles a la cuantificación: el tiempo necesario para el abastecimiento de agua no debe exceder los 30 minutos, incluyendo períodos de espera, y que la distancia entre el hogar y la fuente de agua no debería superar 1 kilómetro de ida y vuelta, y los costos de agua y saneamiento no deben sobrepasar el 5% del ingreso del hogar (Justo-Bautista, 2013, p. 19).

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en el estado de Tabasco, localizado al sureste del país, cuenta con una superficie de 24,731 km<sup>2</sup>. El clima es cálido húmedo en el 95.5% del territorio y cálido subhúmedo en el 4.5% restante, en dirección este. La temperatura media anual de 27 grados centígrados, con una máxima de 36 °C y una mínima de 18.5 °C, y una precipitación anual promedio de 2,550 mm (INEGI, 2016).

La cuenca Usumacinta y Grijalva desembocan al Golfo en territorio tabasqueño y es por esta razón que el estado concentra el 35% del agua disponible en México, aunque esto no ha garantizado el acceso al recurso para toda la población. La cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento, en términos de capacidad instalada, señala que el 99.9% de las viviendas particulares habitadas tiene tubería dentro o en las inmediaciones de su propiedad y el 95% cuentan con drenaje. Sin embargo, la desigualdad, la contaminación y el bajo tratamiento de las aguas residuales son algunos de los factores que han impedido el acceso al agua para toda la población (Salazar, Arizmendi, Rodríguez et al., 2011).

De acuerdo con la Encuesta Intercensal 2015, realizada por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), la población total del estado se estima en 2,395,272 habitantes, de las cuales el 51.1% son mujeres y el 48.9% hombres distribuidos en 2,499 localidades, organizadas en 17 municipios.

Con base en el número de habitantes, se considera que el 57% de la población habita localidades urbanas y un 43% se localiza en rurales, porcentajes por debajo del promedio nacional de 78 y 22% respectivamente. No obstante, Reyna-Bensusán (2011) y Aguilar-Amilpa (2012), consideran que las localidades de menos de 10 000 habitantes presentan todavía características notables de ruralidad, por lo cual, la proporción de población rural podía ascender al 60%.

### **Contexto municipal**

El municipio de Tacotalpa, el 3% de la superficie del estado, pertenece a la sub provincia de llanura y pantanos tabasqueños y sierras del norte de Chiapas. Se encuentra en su totalidad dentro de la cuenca Grijalva-Villahermosa perteneciente a la región hidrológica RH (30) Grijalva- Usumacinta, y de forma parcial en las subcuencas R. Tacotalpa (49.03%), R. Puxcatán (24.03%), R. Almandro (13.37%), R. de la Sierra (9.88%), R. Grijalva (2.28%) y R. Macuspana (1.41%). Entre sus principales corrientes de agua perennes se encuentran el río Almandro. Amatán, Chinal, Chichilte, Cuncubac, El Zapotal, La Sierra, Lechugal, Nava, Puxcatán, Puyacatengo, San Nicolás y Tacotalpa (INEGI, n.d.).

Cuenta con 88 localidades y una población total de 46,302 personas, el 2.1% de la población en el estado. De acuerdo con el informe sobre la situación de la pobreza y rezago social del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval, n.d), en el 2010 había en el municipio 10,812 hogares, de los cuales 1,967 estaban encabezados por mujeres; 30,510 individuos (71.7%) en pobreza, de los cuales el 50.1% presentaban pobreza moderada y el 21.6% pobreza extrema; el 24.1% reportó habitar en viviendas con mala calidad de materiales y espacio insuficiente y 40.9% en viviendas sin disponibilidad de servicios básicos respectivamente, y el 36.3% de la población presentó carencia por acceso a la alimentación.

### **Tomás Garrido**

La localidad Tomás Garrido para el año 2010 presentó un total de 389 habitantes, 188 hombres y 201 mujeres, en 70 viviendas. El grado promedio de escolaridad se calculó en 7.75 años escolares aprobados. Sin embargo, esto excluye a los encuestados que no especificaron número de años. En relación a la escolaridad, se registró una relación negativa entre la edad y la asistencia a la escuela, de forma más marcada en las mujeres. Si bien, de los seis a los once años el porcentaje de asistencia a la escuela es del 97.37% para hombres y mujeres, durante los años que corresponden a la educación media superior y superior solo el 25% de las mujeres y el 26.92% de los hombres de 18 a 24 años asiste a la escuela (INEGI, 2010).

Sin embargo, al revisar las cifras del apartado económico del Censo de Población y Vivienda 2010, las diferencias entre hombres y mujeres y las dificultades para conseguir un ingreso para las familias son mucho más evidentes. Del total de la de población económicamente activa<sup>6</sup> (PEA) el 23.91 son hombres y el 2.06% son mujeres; de los cuales, solo el 15.17% de los hombres y el 1.29% de las mujeres tiene un empleo, remunerado o no. Sin embargo, esto no implica que las mujeres no trabajen sino que el grueso de ellas, 33.68% están dedicadas a los quehaceres del hogar, son estudiantes, jubiladas o tienen algún problema que le impide trabajar.

### **Disponibilidad y accesibilidad**

En la localidad de Tomás Garrido se ubica la planta de captación de agua, la cual cuenta con tres bombas, una caseta para el control del equipo y una planta de emergencia en caso de falla eléctrica para evitar que el bombeo de agua se detenga; no obstante, este generador se encuentra fuera de operación por falta de batería desde aproximadamente noviembre de 2015 hasta mayo 2016 fecha en que concluyó la primera etapa de trabajo de campo.<sup>7</sup>

Los horarios de bombeo a la planta potabilizadora en Oxolotán son de cinco a 10 de la mañana y de 2 de la tarde a las 7 de la noche los siete días de la semana. Esta planta potabilizadora está equipada con una caja de mezcla rápida, clarificadores, filtros, y cisterna de almacenamiento. Además de Oxolotán abastece las comunidades de Mexiquito, Nuevo Madero, Nueva Esperanza, Buenavista, Pomoquita y Cuitláhuac. Al contrario de lo que se pudiera esperar, Tomás Garrido no demanda agua de este sistema, depende de forma casi exclusiva de sus fuentes de agua tradicionales y solo ha hecho uso del agua del río cuando la época de sequía se extiende e intensifica.

<sup>6</sup> Personas de 12 años y más que trabajaron, tenían trabajo pero no trabajaron o buscaron trabajo en la semana de referencia

<sup>7</sup> La caracterización de la planta fue precisada por el operador durante una entrevista grabada con consentimiento previo e informado.



En relación al saneamiento, en Tomás Garrido se encuentra un cárcamo de bombeo de aguas residuales y una planta de tratamiento (PTAR), ambas fuera de operación desde 2010, fecha de la última inundación. Para la prestación de servicios públicos de agua y saneamiento dentro de los hogares o en las inmediaciones de la vivienda se resumen en el Tabla 1 los siguientes indicadores de cobertura:

**Tabla 1.** Indicadores de cobertura de agua potable y saneamiento

Indicador	Tomás Garrido	
	Cantidad	Porcentaje
Viviendas particulares habitadas	72	100
Promedio de ocupantes en viviendas	5.4	-
Viviendas que disponen de luz eléctrica	72	100
Viviendas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda <sup>1</sup>	70	97.22
Viviendas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda <sup>2</sup>	2	2.78
Viviendas que disponen de excusado o sanitario <sup>3</sup>	65	90.28
Viviendas que disponen de drenaje <sup>4</sup>	68	94.44

Nota: <sup>1</sup> Agua entubada dentro de la vivienda, o fuera de la vivienda pero dentro del terreno. <sup>2</sup> Agua de una llave pública o hidrante, de otra vivienda, de pipa, de pozo, río, arroyo, lago u otro. <sup>3</sup> Excusado, retrete, sanitario, letrina u hoyo negro. <sup>4</sup> drenaje conectado a la red pública, fosa séptica, barranca, grieta, río, lago o mar.

Elaboración propia con base en los resultados por localidad del Censo de Población y Vivienda 2010

## Métodos

Para recabar la información, se optó por un acercamiento etnográfico basado en la realización de entrevistas semiestructuradas a los responsables del cuidado familiar: mujeres y hombres encargados del abastecimiento y uso del agua en sus hogares. La entrevista se dividió en dos secciones, una que recopila información socioeconómica, y una segunda de preguntas abiertas orientadas a identificar las percepciones individuales y colectivas sobre tópicos clave identificados en la teoría del DHAS, problemáticas y estrategias para garantizar el ejercicio del derecho.

Para el registro de las entrevistas se utilizó una grabadora de voz previo conocimiento y aceptación de los informantes. En el caso de la información relevante obtenida mediante entrevistas informales y hechos relacionados con la gestión del agua en la comunidad se recurrió al diario de campo, fotografías y grabaciones.

La selección de las viviendas se realizó mediante la zonificación del área. Se identificaron tres zonas para el análisis zona cerca de la descarga de aguas residuales, zona centro y una tercera zona al final del poblado donde ya no se contaba con calles pavimentadas. El número de entrevistas realizadas por zona se definió conforme la información obtenida durante las entrevistas alcanzaba el punto de la saturación teórica.

Además, se emplearon otras técnicas de investigación cualitativa como la observación participante y no participante y el registro de un diario de campo; este instrumento cumplió un papel muy importante para documentar las entrevistas informales que se realizaban a las personas en ambas localidades, identificar informantes clave, grupos de poder y códigos in vivo.



**IV CONGRESO  
NACIONAL**

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

**2016**  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Para el análisis de la información obtenida en campo se partió del supuesto de considerar el “texto como apoderado de la experiencia” para la elaboración de códigos y categorías. En este sentido, la información se abordó desde la tradición sociológica, que entiende al texto como una ventana a la experiencia humana (Fernández- Núñez, 2006, p. 2).

### **Categorización y codificación de la información**

El diseño de la entrevista se planteó teniendo como punto de partida un modelo de análisis de la información que tenía como supuesto la existencia de una relación causal entre las percepciones de los principales componentes del DHAS (D, C, A), la norma (v, cn, cs) y la generación de estrategias de gestión. Debido a ello, desde un principio se contó con un conjunto de categorías bastante amplias sobre las cuales se podía empezar a explorar en las entrevistas.

No obstante, estas categorías únicamente se emplearon para orientar las observaciones en campo y no constituyeron en sí mismas categorías únicas e inamovibles. Por el contrario, la generación de códigos estuvo orientada por el Método Comparativo Constante (MCC), el cual se caracteriza porque el investigador realiza de forma simultánea la codificación y recolección de datos. Este procedimiento permite reflexionar sobre el tipo de datos que se están recogiendo en campo, y sobre esta base modificar la entrevista o el muestreo teórico (De la Torre, Di Carlo, et al. 2004; McCall, 2005).

## **3 RESULTADOS**

Los resultados que se retoman para esta ponencia corresponden al análisis preliminar de la primera etapa del trabajo de campo. Sin embargo, permiten observar la complejidad que encierra la gestión del agua en comunidades rurales ubicadas en ecosistemas tropicales por lo cual se espera que puedan ser discutidos dentro del congreso.

### **Características de los informantes**

En Tomás Garrido se entrevistaron a 22 responsables del abastecimiento de agua, 8 hombres y 14 mujeres, integrados en 16 familias. La proporción entre unos y otros estuvo condicionada por la disponibilidad de tiempo de los informantes y a la propia dinámica de la comunidad. La edad promedio de los informantes fue de 41.67 años, en un rango de 21 a 72 años. Tres de los informantes no tenían primaria concluida, tres tenían estudios de primaria, nueve contaban secundaria concluida, cuatro con preparatoria y solo uno de los informantes tenía estudios de licenciatura.

Del total de los informantes 19 de ellos estaban casados o en unión libre, y solo tres mujeres se encontraban en situación de viudez, separación y soltería. Dos de estas mujeres fungían como jefes de familia. El promedio de hijos por familia se estimó en 3.7. y el número de integrantes en 5.8. El número de familias con hijos menores de seis años fueron nueve y diez contaban con hijos de seis a 14 años, edad a partir de la cual en los países pobres, y en los desarrollados, puede existir la ayuda familiar, sobre todo en las áreas rurales (Martín-Ruíz, 2005).

### **Disponibilidad**

En Tomás Garrido la fuente de agua más importante para el abastecimiento dentro de las viviendas es “El Manantial”, un yacimiento ubicado en terrenos ejidales cuyo sistema de almacenamiento fue construido por los miembros de la comunidad y que distribuye el agua mediante el uso de mangueras e infraestructura pública. Para el acarreo se distinguen dos arroyos uno perenne y el otro de temporal, el primero y más importante ubicado en la entrada de la comunidad y el segundo de menor importancia a la salida.



**IV CONGRESO  
NACIONAL**

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

**2016**  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Otras fuentes de agua son el río y “La playa del tigre”, el primero tiene usos principalmente recreativos y para lavado de ropa e higiene personal en época de sequía; mientras el segundo se destina para uso agrícola. Asimismo, la localidad cuenta con un sistema de potabilización fuera de operación conocido entre los habitantes como “El cantarito”.

En este sentido, las condiciones dentro de la comunidad apuntan a una alta dependencia de sus fuentes de agua naturales y tradicionales. Por ello, la forma en que los individuos perciben la disponibilidad del recurso se encuentra en función de la estacionalidad, la ubicación geográfica de la vivienda en relación a los cuerpos de agua, la operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento y la demanda de agua dentro de la comunidad. Estos factores permiten identificar condiciones de abundancia vinculadas con el desperdicio y abuso del recurso, baja disponibilidad en secas, problemas de continuidad más pronunciados en la viviendas ubicadas en la orillas de la localidad o con infraestructura dañada.

Las estrategias desarrolladas por los individuos se orientaban al acarreo tanto a los cuerpos de agua como en otras viviendas más favorecidas, disminución del consumo, almacenamiento cubetas y otros envases de plástico disponibles como botellas de refresco, cosecha de agua de lluvia, ajuste del lugar y horario en que se realizan determinadas labores como el lavado de ropa.

A nivel comunitario, el problema de la deforestación ha sido determinante en la percepción de un riesgo de disponibilidad a largo plazo. Este temor ha sido difuminado mediante un acuerdo comunitario con el dueño del terreno ejidal de no instalar un potrero a cambio del cuidado de la zona y de la reparación y mantenimiento de la infraestructura.

### **Accesibilidad**

En Tomás Garrido la percepción sobre la accesibilidad física al agua está determinada por el uso, qué necesidad se busca cubrir con el recurso; el estado operativo y de mantenimiento de la infraestructura; las condiciones ambientales: temperatura, orografía; el estado físico y mental del usuario; la responsabilidad asumida en el abastecimiento, y la migración o condiciones que permitan la comparación de un antes y un después. Estos factores inciden en un primer momento en la identificación de una problemática o la normalización de la situación.

En los casos en que se manifestó alguna preocupación estos se agruparon en la percepción de un riesgo: las mujeres mostraron un temor a ser agredidas, en padres de familia por la seguridad de los menores a accidentes. Otra preocupación fue el desgaste físico entre mujeres y hombres que presentan lesiones o enfermedades que limitan la movilidad. Por último, la accesibilidad física es percibida por los usuarios en términos de los problemas sociales derivados de la falta de acuerdos y reglas en el acarreo.

En relación a la accesibilidad financiera, los bajos ingreso agrícolas, el estado físico del usuario y las condiciones ambientales determinan la forma en que perciben lo asequible los responsables del abastecimiento familiar. Debido a que la mayor parte de la PEA son hombres —el 23.91% en comparación con el 2.06% de mujeres— y se dedican a actividades agrícolas y artesanales el ingreso familiar fue identificado por los informantes como bajo e irregular; esta situación en conjunto con la aparente abundancia del agua mantienen una relación negativa con la disponibilidad a pagar (DAP) por el servicio público de agua y alcantarillado. Mientras que la presencia de enfermedades o discapacidades permite una mayor valoración de estos mismos servicios y por lo tanto afecta directamente la DAP.

Por último, el acceso a la información fue referido por los informantes como adecuado, restringido o nulo dentro de la localidad. En el primer grupo se ubican madres de niños y jóvenes menores de 18 años que se encontraban inscritas a Prospera y recibían capacitaciones; en el segundo, hombres y mujeres jefes de familia referían la dificultad para acceder a la información y espacios de decisión dentro de las juntas comunitarias; mientras que la accesibilidad a la información para mujeres y hombres jóvenes fue referida como nula. En este sentido la percepción de los individuos sobre el acceso a la información está determinada por el estado civil de los usuarios, su sexo, y el número de hijos.



## **Calidad**

La percepción de los usuarios sobre la calidad del agua está en función del uso, y del aprendizaje social. Por lo cual, se definen diferentes niveles de calidad mediante un conjunto de indicadores socialmente construidos: temperatura, nivel de carbonatos, turbiedad, sabor, olor y la relación del agua con problema en la piel. Otro factor importante que permite a los usuarios identificar la calidad de las fuentes de agua es la contaminación de por descarga de agua residuales.

Las estrategias, de igual forma, varían conforme el uso que se quiere hacer del agua, de los conocimientos que se tienen para resolver el problema de calidad, del ingreso y de las decisiones sobre el uso del tiempo de cada uno de los usuarios. Entre las estrategias para mejorar la calidad para consumo humano están hervir el agua, comprar agua de garrafón, acarrear y evitar el uso.

## **Saneamiento**

La descarga de aguas residuales constituye una problemática en la percepción de los informantes, principalmente en aquellos ubicados en las cercanías de la zona de descarga, quienes presentan molestias físicas por el mal olor y se encuentran en mayor riesgo de transmisión de enfermedades por exposición a picaduras de mosquito. Asimismo, se percibió por parte de algunos informantes el uso inadecuado de la infraestructura de alcantarillado y la necesidad de la rehabilitación de la PTAR.

Sin embargo, aunque se reconoce la descarga de aguas residuales como un problema y una situación de riesgo que necesita ser atendido mediante la rehabilitación y reubicación de la infraestructura también, no existen estrategias individuales o comunitarias para solucionar esta problemática. En parte, esta actitud es el resultado de la comprensión por parte de usuarios y autoridades de que no es una situación aislada sino que es compartida por otras comunidades aguas abajo y arriba y de la falta de apoyo de los diferentes niveles de gobierno para mejorar su situación.

## **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

La primera diferencia que se identificó en la percepción de los usuarios fue sobre los diferentes usos del agua: las mujeres identificaron un número mayor de usos domésticos en comparación con los hombres. Debido a ello, las estrategias desarrolladas por las mujeres para garantizar la disponibilidad y la calidad del agua dentro de sus familias fueron más complejas e intrincadas. Por otro lado, la responsabilidad que asumen unos y otros en el abastecimiento de agua dentro de los hogares, impacta en la percepción sobre el acarreo y otras actividades que constituye una actividad emergente en el caso de los hombres y tarea obligada para las mujeres.

Esta situación genera costos de oportunidad claramente diferenciados entre hombres y mujeres, pero también entre las mujeres y entre los hombres. La forma en que se mueven los ejes de diferenciación depende entonces de variables como la edad, el estado civil, la posición dentro de la familia, el padecimiento de alguna enfermedad o limitación física, y son estos los que determinan cuestiones de poder y conflicto entre los usuarios, y por lo tanto politizar el papel del DHAS en la reproducción de estereotipos.

En relación al acceso a la información las mujeres con hijos menores de 18 años presentan mayores oportunidades en relación con los hombres para recibir asesorías sobre temas de potabilización y saneamiento; ello, debido a la orientación de los programas de desarrollo social que asignan la responsabilidad del cuidado de la salud de la familia de forma exclusiva a las mujeres. No obstante, es necesario cuestionar la calidad de la información, su pertinencia y validez, y el impacto que este tipo de capacitaciones tiene sobre la población. Por otro lado, las juntas locales para tratar temas relacionados con el agua y el saneamiento aunque permiten la participación de todos los miembros de la comunidad, la toma de decisiones es en última instancia una tarea de los representantes familiares puestos que son asumidos por los hombres y mujeres en estado de viudez.

La abundancia del recurso propia de los ecosistemas tropicales también impacta en las percepciones de la población y en la generación de estrategias. Por un lado, las inundaciones y sus graves estragos en la

infraestructura de agua potable y saneamiento hacen patente dentro de Tomás Garrido la incapacidad del Estado para diseñar obras adecuadas a las condiciones locales, y para garantizar la operación, el mantenimiento y la supervisión de los equipos. Y, por otro lado, no permiten identificar el agua y su saneamiento como una necesidad apremiante a excepción de épocas de sequía extrema. Por ello, en conjunto con las condiciones de pobreza y marginalidad propias de la localidad se observa que la disponibilidad a pagar por los servicios es nula.

Finalmente, la restricción de “lo doméstico” en el DHAS presenta una serie de limitaciones que surgen a raíz de dejar fuera a las actividades desempeñadas dentro del hogar que representen una actividad lucrativa. Esta restricción se expresa en dos sentidos. Por un lado, olvida el carácter multidimensional del DHAS: no permite aprovechar las sinergias que se establecen mediante la operación conjunta este derecho con otros como el derecho a la vivienda, la alimentación, la salud y a un nivel de vida adecuado y a los medios para su subsistencia.

Además, oculta inequidades en las relaciones de género al hacer una distinción entre los usos productivos —en aquellas actividades que suministran económicamente a la unidad doméstica y a la comunidad—, y los reproductivos —las actividades de mantenimiento de los recursos humanos, relacionadas a la reproducción de la fuerza de trabajo, tanto la actual como la futura, y del cuidado de la unidad doméstica y la comunidad—, debido a que este último está asociado a las mujeres, quienes asumirían la mayor carga en el ejercicio del derecho, y que influye en la percepción del nivel de responsabilidad de los miembros masculinos (Carrasco, 2011).

Por otro lado, en comunidades rurales “los límites entre trabajo doméstico y trabajo productivo en el caso de las mujeres son más difíciles de trazar que en otros contextos. La invisibilización del rol productivo de las mujeres es muy acentuada, tanto objetiva como subjetivamente”. No considerar el uso productivo del agua dentro de la unidad doméstica implicaría dejar al hogar únicamente como una unidad de consumo y no considerarla como un productor de insumos y recursos (Celiberti y Mesa, 2009, p. 14)

## 5. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el otorgamiento de la beca de maestría con folio 663632.

Asimismo, parte del trabajo fue apoyado por el proyecto ‘Hacia una gestión integral del agua por cuenca hidrológica: un análisis de la disponibilidad y usos’, financiado por CONACYT mediante la convocatoria Proyectos de Desarrollo Científico para atender problemas nacionales 2014

## 6. LITERATURA CITADA

- Aguilar-Amilpa, E. (2012). *Marco jurídico e institucional para la prestación de los servicios de agua y saneamiento en el estado de Tabasco, México*. México, DF.
- Amar-Amar, J. J., Macías- Ospino, A., y Madariaga-Orozco, C. (2005). *Infancia, familia y derechos humanos*. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte, 2005. eBook Collection (EBSCOhost)
- Bennett, Vivienne; Dávila-Poblete, Sonia y María Nieves Rico, eds., *OPPOSING CURRENTS: THE POLITICS OF WATER AND GENDER IN LATIN AMERICA*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, 2005. (Pitt Latin- American studies.) 262p. bibl. index ISBN 978-0822958543
- Bergman, A. K. (2008). The importance of understanding norm- creation processes in the work towards efficient regulations. In H. Hydén & P. Wickenberg (Eds.), *Contributions in Sociology of Law. Remarks from a Swedish Horizont* (pp. 69–76).
- Carrasco, C. (2011) La economía del cuidado: planteamiento actual y desafíos pendientes. Universidad de Barcelona, *Revista de economía crítica* no 11 primer semestre ISSN: 2013-5254
- Celiberti, L., & Mesa, S. (2009). *Las relaciones de género en el trabajo productivo y reproductivo*.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- CEMDA. (2006). El agua en México: lo que todas y todos debemos saber. C, 1–96. Retrieved from [http://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-mexico\\_001.pdf](http://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-mexico_001.pdf)
- Dominguez-Sarrano, J. (2015). *La propuesta de ley general de aguas en México*. Chile.
- Fernández Núñez, L. (2006). Fichas para investigadores ¿Cómo analizar datos cualitativos? *Bulletín LaRecerca*, 1–13. doi:ISSN: 1886-1946 / Depósito legal: B.20973-2006
- García-García, A. (2010). *Instituciones y pluralismo legal: la hidropolítica en la cuenca transfronteriza Grijalva (1950-2010)*. ECOSUR. México.
- Giménez-Mercado, C., y Valente-Adarme, X. (2010). El enfoque de los derechos humanos en las políticas públicas: ideas para un debate en ciernes. *Cuadernos Del CENDES*, 27(74), 51–80.
- Guendel González, L. (2002). Políticas públicas y derechos humanos. *Revista de Ciencias Sociales*, III, 105–125.
- Hydén, H. (2008). Putting Law in Context- Some remarks on the implementation of law in China. In H. Hydén & P. Wickenberg (Eds.), *Contributions in Sociology of Law. Remarks from a Swedish Horizont* (pp. 147–176). Lund Studies in Sociology of Law.
- INEGI, n.d. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tacotalpa, Tabasco. Clave geoestadística 27015 <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/27/27015.pdf>
- INEGI, 2010. Censo Nacional de Poblacion y Vivienda, 2010
- INEGI, 2015. Encuesta Intercensal, 2015.
- INEGI, 2015. Tacotalpa, Tabasco. Clave geoestadística 27015 <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/27/27015.pdf>
- Justo, J. B. (2013). El Derecho Humano al Agua y Saneamiento frente a los Objetivos de Desarrollo del Milenio ( ODM ).
- Kabeer, N. 2006. Lugar preponderante del género en la erradicación de la pobreza y las metas de desarrollo del milenio. México: International Development Research Centre, 2006. eBook Collection (EBSCOhost).
- Martín-Ruiz, J.F., Los factores definitorios de los grandes grupos de edad de la población: tipos, subgrupos y umbrales. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales Universidad de la Laguna. Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9788. Depósito Legal: B. 21.741-98 . Vol. IX, núm. 190, 1 de junio de 2005
- McCall, L. (2005). The Complexity of Intersectionality. *The University of Chicago Press*, 30(1), 61–72. doi:10.1086/521238
- Moser, C. N. (1989). Gender Planning in the Third World : Meeting Practical and Strategic Gender Needs, 17(11).
- ONU. (2013). *Inicia la convergencia global. Puntos de vista para una nueva agenda de desarrollo*.
- ONU. (2015). *El derecho humano al agua y al saneamiento*.
- Reyna-Bensusán, N. (2011). Retos de la gestión sustentable de los servicios de agua y saneamiento en comunidades rurales. Caso de estudio de Tacotalpa, Tabasco, 66.
- Singh, N. (2013). Translating human right to water and sanitation into reality: A practical framework for analysis. *Water Policy*, 15(6), 943–960. doi:10.2166/wp.2013.020
- Singh, N., Aström, K., Hydén, H., & Wickenberg, P. (2008). Gender and water from a human rights perspective: the role of context in translating international norms into local action. *Rural Society*, 18(3).
- Torre, G. de la, Di-Carlo, E., Florido, A., Opazo, H., Ramírez, C., Rodríguez, P., & Sánchez, A. (2004). *Teoría Fundamentada o Grounded Theory. Métodos de Investigación*. Retrieved from [http://www.academia.edu/1332754/Teoria\\_Fundamentada\\_o\\_Grounded\\_Theory](http://www.academia.edu/1332754/Teoria_Fundamentada_o_Grounded_Theory)



**IV** CONGRESO  
NACIONAL

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

**2016**  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 364. Luis Alberto Bojórquez. FORTALECIMIENTO DEL CAPITAL SOCIAL EN LA FUTURA ANP MONTE MOJINO.

[Regresar al índice](#)

Conselva, email: [luis.bojorquez@conselva.org](mailto:luis.bojorquez@conselva.org)

## RESUMEN

Monte Mojino es un área que se encuentra en vías de decreto para declararse nueva ANP de jurisdicción federal a la que se le ha denominado “la fábrica de agua más grande de Sinaloa”, debido a su ubicación estratégica en la captación de agua para las ciudades de Mazatlán, Concordia y Rosario. En esta área, Conselva ha impulsado la formación de capital social durante los últimos 7 años, generando procesos sociales únicos y de gran impacto: 2009-2010. 30 núcleos agrarios se suman al proyecto durante la socialización realizada por Conselva. 2012-2013. Tras una segunda socialización se obtienen 25 anuencias de asambleas ejidales/comunales formalizando su interés. 2013. Se inician programas de vigilancia comunitaria en zona núcleo como resultado de la capacitación de Conselva. Esto reduce la presencia de tala ilegal y cacería furtiva en la región. Asimismo, se organiza una red intercomunitaria para una ganadería sustentable, en la que productores rurales de 7 comunidades elaboran junto con técnicos locales módulos de manejo sustentable. Conselva ha desarrollado con éxito un modelo de manejo integral de los recursos basado en 5 principios: Fortalecimiento de capital social, Ordenamiento territorial, vigilancia participativa, empleos para la restauración y manejo, y alternativas productivas. Entre los principales beneficios de esta gestión destacan: 90 vigilantes comunitarios capacitados, 36 productores agropecuarios organizados con módulos de producción sustentables, 60 mujeres y hombres capacitados en producción de hortalizas y fertilizantes orgánicos, 80 habitantes capacitados en diversificación productiva mediante la capacitación de comunidad a comunidad, 120 niños formados como “Amigos de Monte Mojino” a través de un programa de educación ambiental rural, 67 jóvenes capacitados en técnicas de conservación de suelo y agua para establecer viveros forestales, reforestación, construcción de obras y otras prácticas de restauración. La gestión del decreto del área para 2016 tiene el desafío de conciliar intereses en conflicto con el sector minero que se opone al decreto y ha promovido una campaña de desinformación sobre Monte Mojino, por lo que Conselva ha intensificado la gestión política en los gobiernos locales, a la vez que mantiene presencia en las comunidades locales construyendo tejido social a partir de demostrar la conveniencia del modelo de desarrollo. Asimismo, Conselva busca establecer un mecanismo financiero con la participación de sectores clave de las principales ciudades consumidoras del agua que se produce en Monte Mojino y la cuenca con el fin de asegurar la conservación y manejo del área en el largo plazo.

**Palabras clave:** (4-5) Capital social en Monte Mojino. Proceso de decreto. Modelo de manejo integral comunitario.

## 1 INTRODUCCIÓN

La historia moderna que da cuenta del proceso de fortalecimiento de capital social en el marco de la iniciativa de establecimiento de la nueva Área Protegida denominada “Monte Mojino” inicia en el año 2003, cuando la



Asamblea general de la comunidad La Guásima, Concordia otorga su anuencia para que un grupo de comuneros apoyen a investigadores del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) en el desarrollo de un Diagnóstico Ambiental y Productivo de la Comunidad.<sup>8</sup> Por un lado, este diagnóstico arrojó una riqueza biótica de las más altas conocidas para Sinaloa, y por otro lado, presentó datos del grado de deterioro de los recursos suelo y vegetación en ciertas áreas del predio comunitario. A partir de estos resultados, en 2004 se elaboró un plan de manejo de los recursos naturales para La Guásima que detonaría una serie de proyectos comunitarios cuyo impacto pronto llegaría a ser conocido por otros núcleos agrarios.

La Comisión Nacional Forestal promueve el inicio de estos proyectos autorizando el Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) en el año 2004, que requirió la delimitación del polígono de conservación de 3,278 ha (casi el 50% del territorio de la comunidad) definido entre comuneros y científicos, área a la que la comunidad restringió el acceso mediante puertas con cadenas, prohibiendo talar, cazar, envenenar pozas y extraer fauna (principalmente aves) en este predio; y para garantizar el cumplimiento de estos compromisos se organizó una Brigada de vigilancia certificada por PROFEPA que patrullaría el área de conservación que se mantiene vigente en la actualidad. Paralelamente, la asamblea de comuneros sedentarizó la agricultura al transformar las áreas agrícolas dentro del predio en pastizales o plantaciones forestales (Figura), impulsando a la vez un intenso proceso de reforestación hasta convertirse en una comunidad líder en superficie reforestada en el sur de Sinaloa (más de 500 ha reforestadas).

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) comienza a incidir en el área en el año 2005 al declararla como Región Prioritaria para la Conservación (RPC), con lo que inicia una serie de apoyos a través del programa PRODES (hoy PROCODES), con los que se elaboran otros estudios técnicos que permitieron ampliar el conocimiento sobre biodiversidad del área<sup>9</sup>, a la vez que se establecen algunos proyectos productivos que incluyen a grupos de mujeres artesanas, productores de miel, productores de maíz criollo, a la vez que se incluyen los temas de agricultura orgánica y manejo intensivo del ganado con los productores adultos y se comienza a trabajar con educación ambiental en las escuelas primarias de los centros poblados de la comunidad a través de diversos cursos de capacitación promovidos por CONANP, entre otros apoyos.

Todos estos años el caso de La Guásima fue conociéndose más entre los núcleos agrarios del municipio de Concordia y fue ampliándose poco a poco hasta el municipio de Rosario, donde el primer ejido en seguir sus pasos fue Palos Blancos, que en el año 2009 junto con La Guásima fueron los primeros en el estado de Sinaloa en ser apoyados con un estudio de Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC) por el programa ProÁrbol de CONAFOR, ambos realizados por Conselva, Costas y Comunidades, A.C. A través de este estudio se realizó un diagnóstico participativo del uso actual del suelo integrado por Unidades de Paisaje (UP's) cuya delimitación se realizó de acuerdo al tipo de vegetación y el uso del suelo. Al final, ambos núcleos agrarios obtuvieron una propuesta de uso de suelo que sentó *el primer precedente de zonificación del área*, pues en el caso de La Guásima asignó un total de 4,170.76 ha (53% de la superficie total) como área de Protección, y el resto del territorio bajo el régimen de Conservación; mientras que Palos Blancos designó una superficie de



<sup>8</sup> Guido, et al., 2005



6,567.33 ha (79% de la superficie total) bajo política de Protección y el resto en el régimen de Conservación. Esto sería validado por las Asambleas Generales de los dos núcleos agrarios e incorporado a sus reglamentos internos. Asimismo, este estudio detonaría una serie de proyectos de desarrollo sustentable orientados por el instrumento de planeación elaborado con la participación de las comunidades denominado Plan de Acción Comunitaria (PAC) en ambos lugares.

A partir del seguimiento de estos planes de desarrollo, Palos Blancos organiza su propia Brigada de Vigilancia Ambiental certificada por PROFEPA, un grupo para el monitoreo biológico que da seguimientos a los resultados obtenidos en la investigación, y con el apoyo de CONSELVA se organiza una brigada ambiental infantil denominada “Amigos de Monte Mojino” en la escuela primaria, se impulsa la creación de un grupo de mujeres productoras de hortalizas orgánicas a partir del método de producción biointensiva de alimentos que genera autosuficiencia alimentaria y excedente para venta, y un proyecto de Compensación Ambiental generando hasta 35 empleos directos en las épocas de mayor crisis laboral en el poblado ocupándose en obras de restauración de suelos, captación de agua y reforestación.



En 2011, la incidencia de los programas federales se extendió a la mayor parte de los núcleos agrarios que integran “Monte Mojino” gracias a que en ese año CONANP declara como Región Prioritaria para la Conservación a “Monte Mojino,” de manera que para el año 2012 (tan solo en un año) ya se estaban operando programas en 24 núcleos agrarios distintos, 15 de ellos a través de PROCODES, 19 a través del PROMAC y 5 a través del PET, habiendo núcleos agrarios apoyados con estos 3 programas. Sin duda, la incidencia de CONANP en los ejidos y comunidades de la nueva ANP “Monte Mojino” durante los últimos 3 años ha favorecido la sensibilidad social hacia la conservación, lo que se refleja en los resultados obtenidos durante el proceso de Consulta Pública para establecer esta nueva Área Protegida.

Por otra parte, la participación de integrantes de CONSELVA también ha sido determinante en el fortalecimiento del capital social para la conservación y el desarrollo sustentable hasta ahora construido en el área, pues le ha tocado acompañar a los habitantes del área durante toda su historia moderna, ha organizado eventos de intercambio de experiencias y capacitación inter-comunitaria en temas de ordenamiento territorial, vigilancia ambiental participativa, producción de hortalizas orgánicas y producción de fertilizante orgánico. Asimismo, ha apoyado la formación de la recién integrada Asociación de Silvicultores del Sur de Sinaloa, que reúne a unos 20 núcleos agrarios de “Monte Mojino” con vocación forestal.



<sup>9</sup> Guido, , et al., 2006

CONSELVA estuvo realizando una consulta pública preliminar sobre la propuesta de establecimiento de la nueva ANP durante el periodo 2009-2010 en 28 núcleos agrarios, tiempo en el que terminó de realizar el Estudio Previo Justificativo. Las sesiones tuvieron calidad de reuniones informativas sobre la propuesta de Área Protegida en un primer momento, y la segunda parte eran talleres de diagnóstico participativo en las que los habitantes de los núcleos agrarios aportaban sus conocimientos sobre la biodiversidad presente en su territorio, así como de los cambios ocurridos en sus recursos forestales, junto con un análisis de problemas socioambientales que terminaba en propuestas de solución de los mismos habitantes.

Los resultados de estos talleres fueron integrados al Estudio Previo Justificativo junto con los datos técnico-científico y el uso de cartografía digital. Es así como los resultados del Diagnóstico Ambiental, Social y Económico presentados en el EPJ, así como la propuesta de manejo del área junto con los planes y proyectos para estos núcleos agrarios reflejaban los intereses y necesidades que los mismos habitantes ya habían expresado. Este fue un factor adicional para que la consulta pública en torno a los resultados del Estudio Previo Justificativo contara con amplia aceptación social.

#### *Socialización de la propuesta con asambleas de ejidos y comunidades*

Durante el periodo comprendido entre el 06 de Septiembre de 2012 al 16 de Junio de 2013 se realizaron un total de 72 reuniones informativas y de opinión en torno a informar a todos los actores vinculados al establecimiento de la nueva ANP Monte Mojino sobre las características de la propuesta, donde la mayor parte de las asambleas de ejidatarios y comuneros sometieron a consideración su integración a esta área. Por su parte, 6 de estas reuniones se enfocaron en los sectores privados de Concordia y Rosario, y 64 reuniones con ejidos y comunidades de Monte Mojino que tuvieron calidad de asambleas generales y de reuniones informativas a los habitantes.



Como resultado de esto, se obtuvieron en total de 25 anuencias de asambleas generales de ejidatarios y comuneros siendo la mayor parte por UNANIMIDAD para incorporar su territorio a la nueva Área Protegida “Monte Mojino,” 5 núcleos agrarios solicitaron ampliar la superficie parcial propuesta de su territorio en la zona de amortiguamiento para integrar todo su territorio, se creó 1 nuevo polígono de zona núcleo de 2,000 has, y 1 ejido de zona núcleo solicitó ampliar su superficie en esta zona. De modo que la superficie final total del polígono propuesta quedó en 201,861.75 hectáreas, y de zona núcleo en 26,112.43757 hectáreas.



## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo de intervención para promover el manejo integral del territorio que ha impulsado Conselva en las comunidades se basa en 5 principios que se complementan y potencian entre sí: Fortalecimiento de capital social, Ordenamiento territorial, Protección y vigilancia participativa, generación de empleos en la restauración y manejo, e impulso de alternativas productivas. Este modelo de desarrollo permite crear capacidades y la voluntad de las comunidades rurales en sumarse a los esfuerzos de conservar, restaurar y aprovechar de forma sustentable su territorio, pasando a formar parte del problema a la solución de amenazas presentes para el medio ambiente y la sociedad.

Es así como durante los procesos de socialización y de elaboración de los diversos estudios comunitarios y regionales que fundamentan el establecimiento de la nueva ANP Monte Mojino, siempre se ha empleado el método participativo denominado Evaluación Rural Participativa, que requiere del involucramiento de todos los actores influyentes en la elaboración de diagnósticos integrales, y de la ruta crítica a seguir para lograr aprovechar fortalezas y atender debilidades y amenazas a través de la participación de los distintos actores influyentes.

## 3 RESULTADOS

La construcción de capital social que coadyuva en el establecimiento y manejo efectivo de un ANP solamente puede resultar cuando los actores locales se involucran desde el principio del decreto, y acompañan durante el desarrollo del proceso hasta sentirlo propio. Esto ha sido clave en los buenos resultados obtenidos por Conselva en Monte Mojino.

Los socios fundadores de Conselva en coordinación con 71 científicos de 43 herbarios y centros de investigación revelaron la sorprendente riqueza que alberga las selvas tropicales secas del sur de Sinaloa: en la pequeña región que hoy se conoce como Monte Mojino se encuentran el 53% de las especies endémicas a México, 95 especies en la NO-059-SEMARNAT-2010, 10 de ellas en peligro de extinción y hasta cuatro nuevas especies para la ciencia. La socialización de la propuesta de declaratoria de Monte Mojino que ha desarrollado Conselva ha sido la plataforma para revelar a la sociedad sinaloense el valor del patrimonio natural que posee y del cual es responsable. Los principales resultados en el proceso de fortalecimiento de capital social para el establecimiento de la nueva ANP Monte Mojino se describen a continuación:

**Lograr el respaldo de todos los sectores de la sociedad y gobierno para la creación de la nueva ANP Monte Mojino.** Los socios fundadores de Conselva invirtieron cinco años en la implementación de un modelo de desarrollo rural sostenible en la Comunidad La Guásima, Concordia. Como resultado, fueron los propios comuneros de La Guásima los que solicitaron a la CONANP que su polígono se declarara como ANP. A esta iniciativa se sumaron los tres núcleos agrarios vecinos a La Guásima, y finalmente durante el desarrollo del Estudio Previo Justificativo por parte de Conselva, se generó un efecto dominó en el que 37 núcleos agrarios se sumaron de manera voluntaria a la propuesta de creación del ANP que se denominó Monte Mojino. En 2012 y 2013 se realizó un proceso de socialización de la propuesta de declaratoria de Monte Mojino en el que participó personal de la Procuraduría Agraria y CONANP en el cual se consultó a los 37 núcleos agrarios en el marco de Asambleas y se logró el apoyo de 31 ejidos/comunidades a la propuesta, 25 de ellos otorgando una anuencia con acta de asamblea. De estos, seis solicitan ampliar la superficie incluida y uno solicita la creación de un nuevo polígono en zona núcleo de su comunidad. En 2014, tras la publicación del Aviso de Decreto en el

DOF se consulta nuevamente a los pobladores de Monte Mojino y se generan 48 cartas de apoyo al área de los tres niveles de gobierno, dependencias de la administración pública federal, organizaciones sociales públicas y privadas e instituciones académicas. El Gobierno estatal y legisladores federales suman sus voces y gestionan para agilizar la declaratoria de Monte Mojino.

**Construir comunidades autogestivas y sustentables.** El amplio trabajo comunitario desarrollado por Conselva en 28 núcleos agrarios de Monte Mojino ha fortalecido el capital social a favor de la conservación, propiciando comunidades autogestivas y sustentables. Se tienen avances significativos tales como: 4 núcleos agrarios han replicado el modelo de desarrollo sustentable impulsado por Conselva, 90 vigilantes comunitarios capacitados y organizados en una red de vigilancia, 36 productores agropecuarios organizados con módulos de producción sustentables, 60 mujeres y hombres capacitados en producción de hortalizas y fertilizantes orgánicos, 80 habitantes capacitados en diversificación productiva mediante la capacitación de comunidad a comunidad, 120 niños formados como “Amigos de Monte Mojino” a través de un programa de educación ambiental rural, 67 jóvenes capacitados en técnicas de conservación de suelo y agua para establecer viveros forestales, reforestación, construcción de obras y otras prácticas de restauración. Además, se han impartido unos 39 cursos y talleres comunitarios en temas de educación ambiental y desarrollo sustentable que han contribuido al desarrollo de los otros cuatro principios del modelo de intervención comunitaria. Todo esto ha representado una inversión económica de \$20,095,744 MN de fondos públicos y privados canalizados directamente por Conselva en solo 6 años. En este mismo período, se ha sumado una inversión de fondos públicos de aproximadamente \$23,000,000 en proyectos de conservación, monitoreo de especies, restauración de hábitats y conservación de maíz criollo.

**Programa de Educación Ambiental no formal permanente.** Conselva fundó y coordina un grupo interdisciplinar e interinstitucional para impulsar un programa de cultura del agua. En el grupo participan la Secretaría de Educación Pública y Cultura (SEPyC), la Universidad Pedagógica del Estado de Sinaloa (UPES), los organismos operadores de agua de las ciudades de Mazatlán y El Rosario (JUMAPAM y JUAMAPARS) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Los principales resultados de este programa en el primer año fueron: 25 jóvenes universitarios formados como promotores ambientales de 5 carreras de 2 universidades monitoreando proyectos en 20 escuelas, 800 niños implementando acciones para mejorar las condiciones de agua en sus escuelas, 20 docentes y más de 6,500 estudiantes de escuelas primarias fueron beneficiarios de acciones de proyectos escolares. Para el segundo año del programa, se suma otra universidad (UPSIN) para el diseño de proyectos de tecnología ambiental en las escuelas y se atenderán las 20 escuelas de Mazatlán con mayor consumo de agua con el fin de reducir directamente estas demandas.

**Respaldo ciudadano a la conservación de las cuencas.** Con el propósito de lograr el respaldo social a las iniciativas de conservación de las cuencas, Conselva desarrolló la campaña de comunicación “*El agua de tu casa viene de la cuenca*”, para informar a la sociedad urbana en Mazatlán y Rosario, acerca de qué es una cuenca y que servicios ambientales nos provee. En dos años, esta campaña ha llegado a la siguiente población: 150,291 personas se informan en redes sociales, 480 personas en talleres intersectoriales, 150 estudiantes en foros universitarios y se estima un impacto de 8,800 personas informadas en eventos públicos de comunicación y distribución de material impreso. En este año la campaña incluirá los medios masivos de comunicación, volantes en recibos de agua y se hará un pilotaje de recaudación de donativos ciudadanos para la cuenca.

**Respaldo de líderes de los sectores productivos y empresariales al cuidado de las cuencas: Voces Unidas por el Agua, A. C.** A partir de un trabajo de tres años de colaboración con líderes de los sectores productivos, Conselva pudo aglutinar un grupo ciudadano, multisectorial que abarca cinco Municipios, con un enfoque de cuenca, con capacidad e interés de influir en políticas públicas en torno al manejo responsable del agua y la



conservación de las cuencas. Este grupo ciudadano se denominó Voces Unidas por el Agua, A. C. (VUPA) y se conformó en octubre del 2015. En este período, VUPA organizó dos Foros multisectoriales y participó en uno más en el norte de Sinaloa, promoviendo activamente la Construcción ciudadana del buen gobierno del Agua. Además, se capacitó en temas de Comunicación del riesgo de las actividades mineras e impartió tres talleres sobre salud y tóxicos de la minería en los Municipios de Concordia, Rosario y Escuinapa. Estas actividades posicionaron a VUPA ante legisladores y autoridades federales, estatales y municipales así como la sociedad del sur de Sinaloa como un actor decidido a impulsar políticas públicas a favor del manejo responsable y compartido del agua con visión de Cuenca (20).

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

El proceso de Fortalecimiento del capital social en la futura ANP Monte Mojino ubicada en los Municipios de Concordia y El Rosario, Sinaloa ha tenido avances significativos pero también obstáculos y hasta cierto punto, retrocesos. Tras el Aviso de Decreto en el DOF en junio de 2014, el proyecto Monte Mojino se vuelve prioritario para el Gobierno del Estado de Sinaloa, lo que alinea se todas las instituciones gubernamentales en torno al decreto, y en el otro extremo, ocurre un debilitamiento del capital social construido en un periodo muy corto de tiempo.

La incorporación del proyecto de establecimiento del Área de Protección de Flora y Fauna a las prioridades de los gobiernos locales fue producto de una intensa campaña de gestión que ha estado realizando CONSELVA a distintos niveles de gobierno mucho antes de la publicación del Aviso de decreto en el Diario Oficial de la Federación, así como gracias a la decidida participación del Consejo para el Desarrollo de Sinaloa. Hoy se tienen a los tres niveles de gobierno en una posición común con respecto a este proyecto.

La segunda situación ocurrió en un periodo de apenas cinco meses, tiempo en el que se pasó de tener una aceptación de 30 núcleos agrarios al proyecto con 25 anuencias de asambleas de ejidatarios/comuneros que todavía en Enero de 2014 mantenía esa misma postura, al lado opuesto gracias a las dudas sembradas por los agitadores profesionales contratados por el sector minero en el estado, que capitalizaron la mala gestión institucional y las inconformidades de algunos grupos en la cercana APFyF Meseta de Cacaxtla para contaminar el proceso que gozaba de una amplia aceptación de los habitantes. A esta campaña se sumaron abogados, traficantes (de madera, fauna y otros elementos botánicos) para fortalecer el rechazo al proyecto.

También abonó a este fenómeno la débil participación en la atención de estas manifestaciones por parte de la CONANP a nivel local. En Sinaloa no se tiene un Director de CONANP responsable de las gestiones institucionales para el decreto, lo que ha dificultado el proceso administrativo y operativo que requiere la consulta de opinión. Además, en el último año se perdieron las relaciones institucionales que tenía la CONANP con los actores políticos de Sinaloa, pues este tipo de situaciones requieren acuerdos entre gobierno federal con estatal y municipal: sin un gestor institucional local de la CONANP misma, dependemos de que esta tarea la realicen otros actores de Gobierno Estatal y no siempre están dispuestos o con posibilidad de hacerlo. Por otro lado, la acción de CODESIN fue acotada por la Secretaría de Desarrollo Social de Gobierno del Estado, y todo ello en conjunto ha propiciado que el movimiento en contra no se ha podido controlar. Es por ello que se hacen las siguientes recomendaciones para reactivar el proceso de fortalecimiento del capital social en Monte Mojino: podemos recuperar a estos ejidos con las siguientes acciones:

**1a. Trabajo político.** Un líder(es) de la confianza de los ejidos y comunidades debe acercarse con ellos y expresar su apoyo a Monte Mojino. Este es un trabajo de alcaldes y se requeriría solicitar este apoyo a ellos.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

**2a. Una visita a Cacaxtla y después a otra ANP.** Se requiere que líderes y directivos de ejidos visiten Cacaxtla para aclarar mitos y rumores prevalecientes vinculados a esa área, y por otro lado, después visiten otra ANP en otro sitio del país que muestre claramente condiciones donde convergen conservación y desarrollo sustentable de las comunidades. Los ejidos durante la consulta de opinión lo han solicitado una y otra vez y es indispensable tomarles la palabra. Necesitan vivir esta experiencia, ver con sus propios ojos que hay vacas y actividades productivas en un ANP. Ellos serán nuestros voceros. Hay que incluir en esta visita a algunas personas clave (nodirigentes) de los ejidos en contra.

**Proyectos estratégicos en los núcleos agrarios.** Se recomienda iniciar con proyectos de mayor impacto social en los 11 ejidos que se han mostrado a favor, para que tengan más elementos para promover la credibilidad en el ANP con los que se encuentran dudosos, mientras que con este segundo grupo (indecisos) habrá que sembrar pequeños proyectos tipo “semilla” o de apoyo directo a los habitantes, como estufas ahorradoras de leña, huertos de hortalizas, y maíz criollo. Con el principal grupo opositor que está liderado por seis núcleos agrarios deberá realizarse una estrategia legal, que permita la disolución de los amparos junto con una estrategia de comunicación con mensajes directos sobre las mentiras que ellos han creído, y sobre todo, lograr el éxito de los proyectos con los demás ejidos para que perciban la importancia de cambiar su posición.

Asimismo, una vez declarada como nueva Área Natural Protegida a “Monte Mojino,” se recomiendan las siguientes acciones: *Asegurar el aumento presupuestal para el manejo del área, la asignación de un director de área y personal de base a partir del decreto.* De esta manera se podrá tener presencia de CONANP en todo el territorio del Área Protegida “Monte Mojino,” aseguando la disolución de los efectos de la campaña negativa realizada, al mismo tiempo que se podrán cumplir los compromisos de acompañamiento, asesoría y apoyo para llevar a las comunidades hacia el desarrollo sustentable, y promover la conservación de los recursos naturales.

**Elaboración del Programa de Manejo para el Área Protegida que incorpore las propuestas de los habitantes:** Para esto deberán tomarse en cuenta las opiniones expresadas durante la etapa de elaboración del Estudio Previo Justificativo y de los distintos procesos de Consulta Pública, contribuyendo así a la construcción de un tejido social más comprometido con el área *CONANP a través de la vinculación con otros actores y sectores relacionados con el área, deberá intensificar los procesos de gestión para el establecimiento de mecanismos concurrentes para el Pago por Servicios Ambientales principalmente en los núcleos agrarios de la zona núcleo.* Así se estará protegiendo la integridad de los ecosistemas y su biodiversidad, promoviendo el respeto a la zonificación establecida, y generando empleos locales.

**Fortalecer el capital social para la conservación y el desarrollo sustentable en “Monte Mojino:”** Impulso al desarrollo de capacidades para la vigilancia ambiental participativa, el monitoreo de especies, así como para el desarrollo de actividades productivas sustentables con énfasis en ganadería y agricultura. Se deberá propiciar el establecimiento de acciones estratégicas coordinadas a través de la formación de redes y alianzas entre comunidades y manejadores del área. Esto se logrará promoviendo eventos de capacitación conjuntos, de intercambio de experiencias y transferencia tecnológica entre los productores.



## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Directora Ejecutiva de Conselva, Sandra Guido Sánchez, por su asesoría y facilitación de materiales para la elaboración del presente ensayo, así como al equipo técnico auxiliar de Conselva que apoyó en la integración de la información.

## 6. LITERATURA CITADA

- **Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2014.** Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Área de Protección de Flora y Fauna “Monte Mojino” ubicada en el estado de Sinaloa, México. 295 p, 11 anexos
- **Guido Sánchez, S., M. Ruiz Guerrero, A.M. van der Heiden, P. Mejía Mora, H. Plascencia González y E. García Campos. 2005.** Plan de Manejo Comunitario de los recursos naturales de la Comunidad La Guásima, Concordia, Sinaloa. Parte I. Diagnósticos ambiental y productivo con recomendaciones preliminares para su manejo. Informe final CECyT-CIAD, Mazatlán, Sinaloa, 116 pp.
- **Guido Sánchez, S., A. M. van der Heiden, A. Montijo Galindo, L. Bojórquez Rodríguez, M. Ruiz Guerrero, J. M. Mendoza Guerrero, P. Mejía Mora, L. Gutiérrez Cárdenas y C. Martínez Chávez. 2010.** Estudio Previo Justificativo para el establecimiento de una nueva Área Natural Protegida “Monte Mojino” de competencia de la Federación en los Municipios de Concordia y Rosario, Sinaloa. Informe Final para CONANP y la Fundación David and Lucile Packard. CONSELVA/CIAD, Mazatlán, Sinaloa. 485pp.
- **Guido, S., A. M. van der Heiden, A. Montijo Galindo; M. Ruiz Guerrero, L. Bojórquez Rodríguez; L. Gutiérrez Cárdenas; P. Mejía Mora. 2010.** Ordenamiento Territorial Comunitario de la Comunidad La Guásima, Concordia, Sin. Informe final para CONAFOR. Conselva Conservación y Uso Sustentable de la Selva Tropical Seca A. C. /CIAD. 200 pp.
- **Guido, S., A. M. van der Heiden, A. Montijo Galindo; M. Ruiz Guerrero, L. Bojórquez Rodríguez; L. Gutiérrez Cárdenas; P. Mejía Mora. 2010.** Ordenamiento Territorial Comunitario del Ejido Palos Blancos, Rosario, Sin. Informe final para CONAFOR. Conselva Conservación y Uso Sustentable de la Selva Tropical Seca A. C. /CIAD. 191 pp



Extenso ID: 179. Antonio Rangel Carrillo, María Susana Rocha Mier, Maribel Cervantes Cruz, Hugo Alberto Alamilla Tovar, Karina Guadalupe Polonio Rovira. EL RETO SOCIAL PARA EL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO AGROPECUARIO-FORESTAL SUSTENTABLE EN EL EJIDO MECAYAPAN.

[Regresar al índice](#)

Gente Sustentable A.C.

### **Resumen:**

El ejido Mecayapan presenta problemas ambientales como: deforestación, erosión de suelos, poca productividad en el campo, disminución de cuerpos de agua, contaminación de ríos y arroyos, basura por todas partes, entre otros, que sin duda afecta la calidad de vida de sus habitantes. La magnitud de esta problemática requiere de acciones colectivas contundentes que frenen esta inercia de deterioro y promuevan el rescate de la identidad y conocimientos de sus ancestros, con la asesoría técnica de prácticas sustentables para el Manejo Silvopastoril, la Milpa Intercalada con Árboles Frutales, el Manejo Integral de Solares y la restauración de cuerpos de agua.

La movilización social se complica por la cultura clientelar que además de fomentar la dependencia hacia los programas oficiales, atomiza los esfuerzos comunitarios, y desvanece el tejido social.

Por lo tanto el primer reto es la organización social, que implica el desarrollo de capacidades para la comunicación, el trabajo en equipo, la resolución de conflictos, y pone en la mesa de discusión el bien común, la cultura campesina y la economía solidaria.

El primer año de este subproyecto del C6 permitió sentar las bases para un encuentro entre las y los participantes, a través de una metodología de intervención para el desarrollo de capacidades basado en: aprender haciendo, con modelos inéditos, participación social y solidaridad. Esta etapa ha permitido avanzar en la construcción de capital social generando confianza, reciprocidad y cooperación para poner en marcha los diferentes componentes del subproyecto.

Los problemas ambientales y productivos comunes, y en especial los problemas relacionados con el tema del agua, han promovido el interés para participar en las reuniones y empezar a construir acuerdos que permitan el uso sustentable de los recursos.

Un elemento fundamental para el trabajo realizado ha sido el soporte y asesoría por parte del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza a través del Fondo Golfo México, quien ha promovido en los equipos técnicos el desarrollo de capacidades, las redes para el impacto colectivo, y la consolidación de las organizaciones civiles.

**Palabras Clave:** Tejido social, desarrollo capacidades, autogestión



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 237. Karen Patricia de las Salas Carrillo, Tamara Guadalupe Osorno-Sánchez, Liliana González Erives. EL MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES, EL CASO DE LA MICROCUENCA BUENAVISTA, COMUNIDAD LA CARBONERA, QUERÉTARO.

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Querétaro, Av. Junipero Serra, Querétaro, México, email:

[kdelassalasc@misena.edu.co](mailto:kdelassalasc@misena.edu.co)

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Querétaro, Av. Junipero Serra, Querétaro, México, email: [tamara.osorno@uaq.mx](mailto:tamara.osorno@uaq.mx)

<sup>c</sup> Universidad Autónoma de Querétaro, Av. Junipero Serra, Querétaro, México, email: [lizonzer@hotmail.com](mailto:lizonzer@hotmail.com)

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue documentar una opción sustentable del manejo de los recursos naturales en la microcuenca Buenavista, ubicada en la subcuenca del río Apaseo en el estado de Querétaro, a través de la caracterización del sistema agropecuario diversificado, manejado por un grupo de mujeres campesinas.

La metodología empleada se basó en el estudio de caso, para el cual se recabó información a través de visitas, recorridos en campo y entrevistas grupales e individuales semiestructuradas, a las productoras del proyecto “Mujeres y Ambiente”, lo que permitió caracterizar el sistema, identificar las subunidades que lo conforman y sus relaciones.

Los resultados permiten identificar un proceso de organización y autogestión comunitaria del grupo de mujeres, que con el apoyo de instituciones como la Universidad Autónoma de Querétaro y el financiamiento de SERMARNAT, ha venido fortaleciendo capacidades organizativas y técnicas que les han permitido diversificar un sistema agropecuario, que durante 43 años funcionó bajo un esquema tradicional en la producción de maíz y frijol y que desde el año 2003 se ha diversificado producto de un proceso de reconversión tecnológica, mediante prácticas sostenibles en el manejo de los recursos naturales, el desarrollo de ecotecnias, la producción de plantas aromáticas y medicinales, hortalizas y producción pecuaria.

Dentro de este proceso es destacable mencionar la gran labor de las mujeres campesinas, como fuerza laboral dentro del sistema agropecuario y como elementos detonantes en los procesos de generación y transferencia de conocimientos, ya que actualmente este grupo recibe visitas guiadas de varias instituciones educativas y promueve el trabajo organizado y la incorporación de diferentes ecotecnias.

A través del enfoque de cuencas, el grupo de mujeres se ha empoderado, convirtiéndose en líderes organizadas, participes en la toma de decisiones en cuanto al manejo de los recursos, y que impulsan el comercio de varios productos elaborados a partir de los bienes y servicios que les provee la microcuenca y que intercambian con habitantes de microcuencas aledañas, pudiendo ser en este sentido un modelo de manejo replicable para otros productores de la parte baja de la microcuenca y así mismo en microcuencas con condiciones parecidas, o bien ser un proyecto que genere sinergias que permitan construir acuerdos en torno a proyectos compartidos entre los productores, a partir de las condiciones biofísicas y sociales del territorio.

**Palabras clave:** Cuenca, Agricultura familiar, sistema de producción agropecuario diversificado.



## 1 INTRODUCCIÓN

El deterioro de los recursos naturales dentro de los territorios conocidos como cuencas son problemas que están a la orden del día en muchos países del mundo. Ante este contexto, se busca el manejo integrado de los recursos para alcanzar una sustentabilidad aceptable, a partir de proyectos orientados a potenciar las capacidades locales y que integre los intereses de los actores que viven y aprovechan los recursos de la cuenca (Catarina, 2005; Blanco *et al.*, 2009; FIRCO, 2010).

La microcuenca Buenavista, se localiza en la región norte y noroeste del municipio de Querétaro. Forma parte de la Región Hidrológica N° 12 Lerma-Santiago, que corresponde a la cuenca del río Laja, uno de los afluentes más importantes del río Lerma (PRPC, 2010).

Esta unidad hidrológica, presenta problemas de pérdida de suelo por erosión, así como problemas de pobreza, desempleo, migración, carencia de ingresos, infraestructura y servicios básicos deficientes, por lo cual ha sido considerada por la CONAPO como zona de alta marginación (PRPC, 2010).

En esta región se desarrollan actividades agropecuarias como: cultivo de maíz, frijol, calabaza, chícharo, alfalfa, garbanzo y producción de caprino, ovino y bovino, bajo el esquema de agricultura familiar.

La actividad agropecuaria se lleva a cabo bajo condiciones limitantes, como la escasez de agua, acceso limitado a recursos, azolve de bordos, bajos rendimientos y rentabilidad de los cultivos, lo cual hace que la actividad agrícola y ganadera, cada día sea menos practicada, trayendo consigo una alta migración a los Estados Unidos, así como el abandono y venta de las tierras.

Ante esta situación, desde el año 2003 un grupo de mujeres campesinas, acompañadas por la maestría en gestión Integrada de Cuencas desarrolla nuevas alternativas de producción e ingresos, a través de un mejor manejo de sus recursos naturales. Este proceso se basó en la participación organizada y colectiva lo que ha permitido atender sus necesidades básicas y mejorar sus condiciones de vida (PND, 1983-1988; Ellis y Biggs, 2001; Tapia, 2013).

El presente estudio tiene como objetivo caracterizar el sistema agropecuario diversificado que lleva a cabo el grupo “Mujeres y Ambiente”. Esto es relevante debido a que este manejo de los recursos naturales se centra en la articulación de conocimientos locales, académicos y el apoyo del sector público y privado, sustentado en las relaciones sociales de producción, en el componente tecnológico y en las características de la microcuenca. Por lo que se considera un proyecto que puede dar respuesta a las necesidades de los diversos actores de la microcuenca.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca Buenavista se ubica en la región norte y noroeste del Municipio de Querétaro, entre las coordenadas geográficas 20° 54' 28.54" LN y 100° 33' 00" LO. Presenta una extensión de 13,149 hectáreas, entre el estado de Querétaro y Guanajuato (Figura 1). La conforman 14 localidades, reuniendo una población total de 17,906 habitantes (PRPC, 2010).

En la microcuenca predomina el clima templado seco con temperaturas de 18°C y una precipitación promedio anual de 549 mm. Los principales suelos que se presentan en la microcuenca Buenavista son: Phaeozem, suelos pardos, de textura areno-arcillosa, poco profundos y moderada limitación para su uso en la producción agrícola. Litosol, suelos muy susceptibles a la erosión, por lo que son poco aptos para las labores agrícolas y el Vertisol, suelos oscuros, con alta concentración de materia orgánica y de arcillas expandibles lo cual hace muy difíciles su manejo para las labores de labranzas. Según su capacidad de uso el 37.1% tienen vocación agrícola, con 4,883 ha, de las cuales 4,275 ha corresponden a tierras de temporal y 608 hectáreas de riego dedicadas al cultivo del maíz (PRPC, 2010).

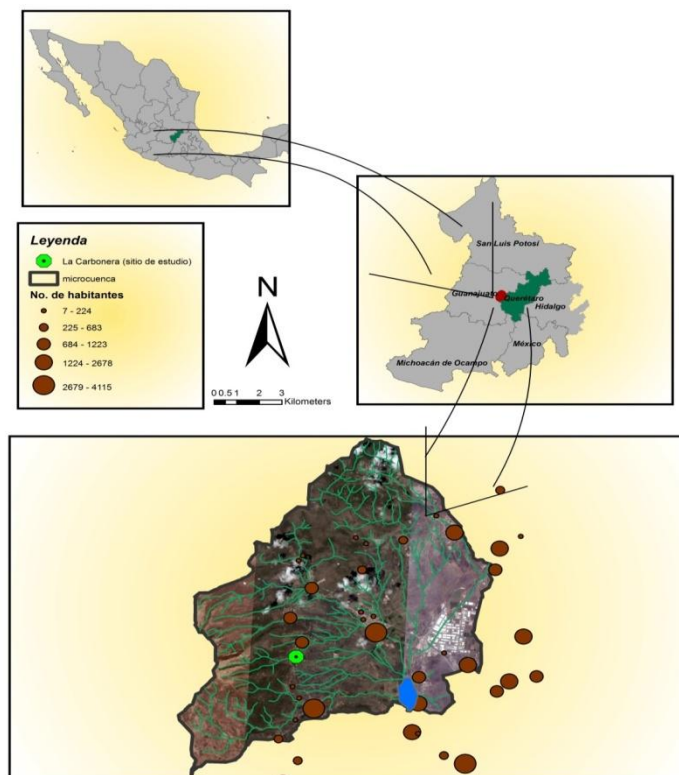


Los tipos de vegetación presentes en la microcuenca Buenavista son: bosque de encino primario, bosque de encino secundario, matorral xerófilo primario, matorral xerófilo secundario, pastizal inducido, pastizal natural secundario, selva baja caducifolia secundaria (PRPC, 2010).

El sector productivo más explotado ha sido el agrícola, que hasta hace diez años era la base de la economía de la región con el cultivo de maíz bajo el sistema de milpa. Pero hoy día los productores buscan nuevas formas de ingresos como emplearse en fábricas de la ciudad de Querétaro, la construcción y migrar hacia los Estados Unidos. El grado promedio de escolaridad en la microcuenca es de 5.4 y solo el 32% de la población cuenta con educación básica completa.

En el presente proyecto se llevó a cabo una identificación y caracterización del sistema productivo que maneja el grupo de campesinas Mujeres y Ambiente, con el propósito de conocer las actividades desarrolladas por cada una de ellas, sus formas de organización, así como identificar los componentes, insumos y productos que manejan.

La documentación requerida para este estudio se recopiló través del uso de algunas herramientas del método etnográfico como son: relatos de informantes clave a través de pláticas informales, registros de audio y fotográficos, revisión de fuentes bibliográficas secundarias, recorridos de campo, desarrollo de talleres, visitas y entrevistas semiestructuradas grupales e individuales a las productoras.



**Figura 1.** Ubicación de la microcuenca Buenavista, Querétaro, México

### 3 RESULTADOS

#### ADOPCIÓN DEL ENFOQUE DE CUENCAS

En la microcuenca Buenavista se ha venido trabajando el enfoque de cuencas desde el año 2003, pero sólo hasta el año 2007 se aunaron esfuerzos para la elaboración del “Plan Rector de Producción y Conservación” (PRPC), en el cual participaron instituciones públicas, privadas y los habitantes de las diferentes localidades que conforman la microcuenca.

Las principales problemáticas identificadas para la microcuenca fueron la pérdida de suelo por erosión, escasez del agua, deforestación, baja productividad de los cultivos, incremento de plagas, alta migración, deficiencia de infraestructura hidráulica, falta de empleos, deficiencia de servicios públicos, venta de predios y altos costos de producción.

Los proyectos propuestos en el PRPC, fueron enmarcados hacia la parte social, agrícola, pecuaria, forestal, ambiental y piscícola, con el fin de iniciar el ordenamiento de la microcuenca, rehabilitar las áreas degradadas, capacitar a los integrantes de la microcuenca y desarrollar proyectos productivos de desarrollo comunitario y de conservación de los recursos naturales, para con esto mejorar la calidad de vida de los habitantes de la microcuenca (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Principales acciones propuestas al interior de la microcuenca Buenavista

Área de trabajo	Acciones
Bienestar Social	Drenaje, contenedor de basuras
	Agua Potable, limpieza de arroyos
	Ampliación alumbrado público
Agrícolas	Capacitaciones
	Caminos de saca, fertilizantes
	Incorporación de materia orgánica
Pecuarias	Tractor para servicio de maquila
	Cercos perimetrales y división de potreros
	Corrales de manejo, construcción de bordos
Forestales	Mejoramiento genético de ganado
	Reforestación con especies nativas
	área de exclusión vegetal,
Servicios Ambientales	Educación ambiental
	Reciclaje de materiales

En este sentido se desarrollaron proyectos con estrategias de reconversión productiva a los sectores agrícolas y pecuarios, para las mujeres, de cada una de las comunidades, de las cuales hoy día las productoras de la comunidad La Carbonera desarrollan un sistema de producción diversificado, considerado un caso particular en la microcuenca. Un esquema de trabajo que incluye nuevas tecnologías para captación de agua, producción de alimentos, ahorro de energía, y que ha crecido en cuanto a organización y gestión, incidiendo positivamente en la calidad de vida de las mujeres que lo integran y en la conservación de los recursos naturales de la

microcuenca, por lo cual es considerado un modelo que permite integrar a los habitantes para trabajar colectivamente en la solución de problemas comunes, siendo así una experiencia replicable por otros productores y en otras microcuencas en contextos similares.

### **Características del Sistema de Producción Diversificado**

La unidad productiva que se describe presenta un área promedio de cinco hectáreas y ha funcionado durante 43 años bajo un esquema orgánico en la producción de maíz para grano y frijol para autoconsumo y alimentación de los animales.

El cultivo del maíz es de temporal. En el mes de abril inician la preparación del terreno volteando la tierra y haciendo surcos siguiendo las curvas de nivel que emparejan manualmente. En junio se marcan los surcos y se mete el tractor para tirar la semilla. La variedad que siembran es maíz criollo, que ha sido seleccionado de la cosecha anterior, el cual no recibe tratamiento de desinfección con algún fungicida o insecticida. Cuando la semilla germina y tiene una altura de 15 cm, se escarda con yunta y se le acerca tierra al maíz para que no se inunde y eliminar malezas.

La cosecha se realiza en el mes de septiembre y la realizan de manera manual obteniendo rendimientos de 1.2 toneladas por hectárea. La mano de obra es familiar, y son sólo las mujeres del núcleo familiar, quienes reparten las horas del día entre las actividades domésticas y las agropecuarias. Los hombres de la familia se dedican a trabajo asalariado en la zona industrial de Querétaro, colaboran en labores como transporte de los excedentes para la venta hacia la zona urbana del municipio de Querétaro y en la colecta de algunas plantas silvestres (sangregado, sábila, granjeno) para la elaboración de productos cosméticos y de higiene personal.

Las estructuras de la planta que no se aprovechan, generalmente se aglomeran en la parcela y una parte se reincorpora al suelo junto a estiércoles de los animales como fertilizantes del suelo. De esta manera, sólo se abonan las áreas donde el campesino en la cosecha anterior identificó una menor producción. Después de la cosecha, las productoras siembran avena, garbanzo o alfalfa en pequeña escala para el consumo de los animales.

Desde el año 2003 han diversificado su producción mediante la intervención de profesores y estudiantes de la Universidad Autónoma de Querétaro y recursos aportados por SERMARNAT, con lo cual han conseguido desarrollar ecotecnias como: biofiltro, composta, lombricultura, letrina seca, cisternas de captación de agua pluvial, estufa Lorena, olla, deshidratador y calentador solar, huerto biointensivo que han favorecido procesos de reciclaje y uso eficiente de energía y de los recursos naturales.

Las productoras usan una estrategia de policultivo en su parcela y se pudo determinar que en el agroecosistema se manejan 32 cultivos (hortalizas, aromáticas y medicinales, árboles frutales), en diferentes estadios de desarrollo productivo, lo que asegura una producción estable en el agroecosistema e indica una alta biodiversidad. Esta oferta de alimentos de origen animal y vegetal les permite diversificar su alimentación y por lo tanto mejorar su dieta alimenticia, así mismo obtener ingresos económicos con la venta de los excedentes de estos.

En este sistema agropecuario diversificado, se identificó la presencia de maleza como: Aceitilla (*Bidens pilosa*), cadillo (*Desmodium tortuosum*), malva (*Malva parviflora* L.), quelite ledo (*Chenopodium berlandieri*) y chotol (*Tithonia tubiformis*). De éstos la aceitilla y chotol lo usan como forraje cuando están maduros. En cuanto a plagas se registró la presencia de: chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch), chahuistle (*Phytophthora infestans*), gusano soldado (*Spodoptera exigua* Hübner o *Helicthis zea*) y ardillas (*Spermophilus variegatus*). En este sistema el manejo de la maleza lo hacen de manera manual y la plaga no tiene un control químico, solo se utilizan plantas en tinturas, infusiones o té.

En el cuadro 2 se resumen las características del sistema agropecuario diversificado.

**Cuadro 2.** Características de los Sistemas de Producción Agropecuario Diversificado en la microcuenca Buenavista, Querétaro, México, 2015.

<b>Características del sistema Productivo</b>	<b>Sistema diversificado</b>
Características de productores	Grupo familiar de mujeres productoras organizadas.
Fin de la producción	Producción familiar, excedentes para la venta
Cultivos manejados	<b>Granos y semillas:</b> Maíz, Avena <b>Aromáticas y medicinales:</b> Manzanilla, Romero, Toronjil, Albahaca, Hierbabuena, Ruda, Epazote, Vaporru, Canela, Sábila, Altamiza. <b>Frutales:</b> Limón, Nogal, Kiwi, Guayaba, Níspero, Manzana, Durazno <b>Hortalizas:</b> Acelga, Perejil, Cilantro, Zanahoria, Col, Lechuga, Apio, Betabel, Rábano, Amaranto.
Tecnología empleada	Uso de agrobiodiversidad, uso de semilla nativa, labranza convencional, banco de germoplasma, preparado para plagas.
Mano de obra emperlada	familiar/ empleada baja
Ecotecnias	Biofiltro, Composta, Lombricultura Cisterna, Estufa Lorena, olla solar, Huerto biointensivo, Banco de germoplasma.
Fertilización	Abono orgánico
Prácticas de conservación de suelo/Agua/casa	Incorporación de abonos orgánicos, forraje, polinización abierta. Cosecha de agua pluvial con el uso de cisternas. Uso de baño seco, filtro de agua domésticas y estufas ahorradoras de leña.
Plagas	Chapulín, Chahuistle, Gusano soldado y Ardillas
Maleza	Aceitilla, Cadillo, Malva, Quelite ledo y Chotol
Manejo de arvenses	Manual: Pala y machete
Manejo de plagas	Preparados con plantas aromáticas y medicinales con efectos tóxicos para plaga
Producción animal	34 Gallina, 5 Borregos, 1 Cabra, y 14 Conejos

#### Subsistemas del Sistema Agropecuario Diversificado



En este sistema se identifican seis subsistemas que se describen a continuación (Figura 2):

### **1) Subsistema familiar:**

Conformado por 5 miembros, la madre viuda, sus tres hijos y nuera. El conocimiento del manejo del subsistema agropecuario lo heredaron de la madre, actividad que ha desarrollado por 60 años.

Según el estudio socioeconómico llevado a cabo por (Arteaga, 2015) en cuanto al nivel de educación son las mujeres quienes han alcanzado un mayor nivel educativo (preparatoria y estudios universitario) representando el 6%. Ésta diferencia es debida a que los hombres una vez terminan la secundaria buscan empleo como ayudantes de albañil o en alguna empresa de la ciudad de Querétaro.

En cuanto al uso del tiempo Arteaga (2015) reporta que en este grupo, los varones menores a 14 años dedican (6-8h) al estudio, la mayoría de ellos también ayudan en las tareas del hogar (1 h) y en trabajos de la huerta o parcela (30 min. -1 h), dos de ellos cuidan ganado de un vecino (2-3 h).

En cuanto a los hombres adultos dedican (8-11 h) a su trabajo remunerado como empleados y en la construcción (40%) o como herreros que representa el 20% complementando ésta actividad con el cuidado de la parcela (3-5 h) ya que trabajan desde sus domicilios. Solo uno de ellos ayuda en las actividades del huerto (3 h) y la elaboración de productos medicinales (15 min).

Las mujeres adultas (57.8%) dedican la mayor cantidad del tiempo a las tareas del hogar (6-8 h) y actividades de la huerta (2-3 h), como en la elaboración de productos diversos (1-2 h) y su comercialización la cual se realiza un día a la semana cada mes en un período de 6 a 8 horas.

### **2) Subsistema agrícola**

Desde el año 2003 se diversificó con siembras de cultivos de ciclo corto (zanahoria, rábano, cilantro, perejil, lechuga, tomate), cultivos de plantas aromáticas (romero, toronjil, caléndula, manzanilla) y árboles frutales (kiwi, durazno, limón). Los productos de este subsistema se usan fundamentalmente para consumo familiar y los excedentes se venden.

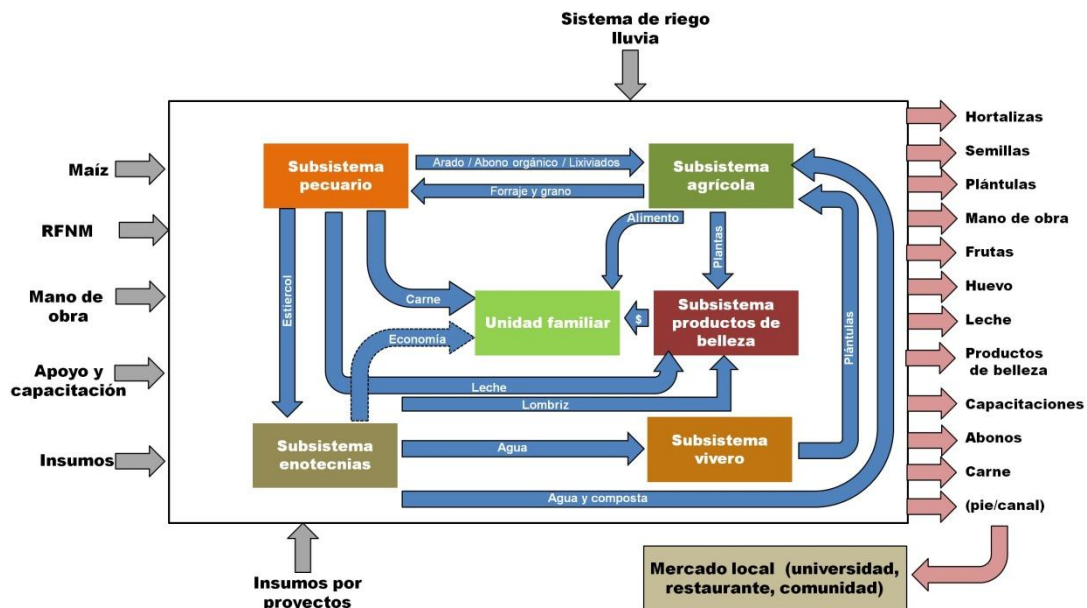
### **3) Subsistema pecuario**

Conformado por corrales con pollos de engorde, gallinas criollas ponedoras, y conejo empleados para consumo familiar y para la venta. En cuanto a las cabras se emplea para la alimentación de las lombrices con su estiércol y la extracción de la leche para los productos de belleza. Finalmente los caballos para actividades de tracción animal (arado, escarda) y transporte local.

### **4) Subsistema vivero:**

En este subsistema se propagan plantas aromáticas y medicinales como: *Calendula officinalis* (caléndula o botón de oro), *Rosmarinus officinalis* (romero), *Mentha piperita* (menta piperita), *Arnica montana* (árnica), *Matricaria chamomilla* (manzanilla), *Agastache mexicana* (toronjil). Estas especies son cultivadas fundamentalmente para la producción de estas a gran escala y comercialización con la empresa española Provital.

Para la elaboración de los productos de belleza que el grupo Mujeres y Ambiente comercializan, utilizan una gran variedad de plantas como lo son sábila, romero, sangregado, lavanda, toronjil, árnica, nopal, órgano, chile, jojoba, espinosilla, manzanilla, gordolobo, sauco, borraja, caléndula, real del oro, hinojo, diente de león, golondrina y hierba del sapo. La forma en la que consiguen estas plantas es de sus traspatios, algunas los compran a hierberos, las consiguen con vecinos. Otras plantas como: la golondrina, el gordolobo, el diente de león, el árnica, el nopal, la espinosilla y la hierba del sapo provienen de la colecta silvestre en la parte media de la microcuenca.



**Figura 2.** Diagrama de flujo del sistema agropecuario diversificado.

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

El sistema de producción que se desarrolla en la comunidad La Carbonera, corresponde según la tipología de la FAO, a un esquema de Agricultura Familiar de Autoconsumo y Comercialización, ya que una parte de la producción de la unidad familiar se utiliza para satisfacer el consumo de alimentos y por otra parte, los excedentes se comercializan.

En este sistema de producción agropecuario diversificado, la fuerza de trabajo, la aporta básicamente la familia, empleándose ocasionalmente mano de obra contratada, en ciertas épocas del año. Involucra a todo el núcleo familiar (jóvenes, hombres y mujeres, adultos, adultos mayores), con el fin de coordinar las actividades productivas bajo criterio de sustentabilidad.

Esta experiencia particular dentro de la microcuenca, es producto de un largo proceso de construcción y aprendizaje conjunto entre las campesinas, instituciones públicas y privadas, donde la relación de las campesinas y los recursos de la microcuenca se han modificado para un manejo sostenible en el tiempo, mejorando su condición social a partir del trabajo familiar colectivo.

Este enfoque de cuencas, ha permitido desarrollar capacidades de organización, gestión y participación entre las mujeres que integran el grupo, para resolver problemas comunes, desarrollar proyectos productivos y gestionar recursos para satisfacer sus necesidades, mediante la acción colectiva. Estas capacidades les han permitido recuperar espacios naturales, incluir nuevas tecnologías para el mejoramiento de las condiciones productivas con lo cual maximizan los beneficios económicos y aminorar las pérdidas ambientales que estos pudieran generar.

De este modo se han logrado avances importantes a nivel parcela, gracias a la participación de las integrantes en acciones como la construcción del huerto biointensivo, que ha permitido diversificar y mejorar la alimentación de la familia, obtener un ingreso económico con la venta de semillas y hortalizas; el uso de la estufa Lorena, con lo cual han disminuido el pago por energía eléctrica, disminuye el uso de leña, de emisiones atmosféricas y por supuesto la salud y calidad de vida de las mujeres por inhalación de humo; las prácticas de conservación de suelos, han disminuido los problemas de erosión y la generación de un banco de germoplasma que ha sido una estrategia para recuperar especies vegetales nativas, y usar estas como remedios caseros a partir del rescate del conocimiento local.

Este esquema de trabajo, un factor clave que ha favorecido este enfoque de cuencas ha sido el acompañamiento continuo de la Universidad Autónoma de Querétaro, que desde lo institucional ha sido un puente entre las campesinas y otras instituciones (Empresa Provital), y además con su participación en este proceso han capacitado a las campesinas en diversas áreas, contribuyendo al aumento de sus conocimientos, mejorar sus capacidades de decisión y organización para buscar e implementar proyectos productivos adecuados a las condiciones ambientales de la microcuenca. Generando esto un lazo de confianza entre las productoras y la universidad.

Se suma a lo anterior, que dentro de este enfoque de cuenca promueve la participación activa y propositiva de las integrantes del grupo Mujeres y Ambiente para alcanzar objetivos comunes, al mismo tiempo que favorece la transparencia en el manejo y distribución justa de los costos y beneficios de los recursos.

En este sentido las vivencias y la relación familiar que existe entre las integrantes del grupo ha creado espacios de interacción y solidaridad, lo cual ha incrementado la percepción del valor social colectivo, la confianza y cooperación, elementos fundamentales para la ejecución de proyectos que requieren de la acción colectiva.



Basado en lo anterior, este esquema de trabajo a nivel de parcela impulsado por las productoras de la comunidad La Carbonera, basado en trabajo coordinado, acuerdos al interior del grupo, asesorías técnicas, desarrollo de capacidades organizativas y de gestión, hacen de estas campesinas un grupo líder a seguir para otros productores de la microcuenca como una opción de manejo más eficiente de los recursos y de un desarrollo rural sustentable.

En este sentido, este caso particular liderado por mujeres campesinas, si bien en un principio generó pocas expectativas entre los habitantes de la microcuenca Buenavista, hoy es un proyecto al cual se ha sumado gente, generándose un proceso sinérgico con beneficios sociales, ambientales y económicos.

Es válido resaltar que esta experiencia para las mujeres, ha implicado un reconocimiento del trabajo tanto a nivel familiar como comunitario, así como un fortalecimiento en capacidades comunicativas, de liderazgo y de toma de decisiones que les ha permitido gestionar recursos y proyectos para la comunidad. Todo esto genera en ellas sentimientos de satisfacción, ya que además de su rol como ama de casa, reconocen su valioso aporte en los ingresos económicos familiares, con su incorporación activa en las actividades productivas de la parcela.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión de la Dra. Tamara Guadalupe Osorno Sánchez y la Mtra. Liliana González Erives, a quienes agradezco su tiempo, paciencia y dedicación.

A las mujeres del grupo “Mujeres y Ambiente”, por su disponibilidad y solidaridad en cada una de los encuentros, Gracias Totales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Universidad Autónoma de Querétaro, por la beca de apoyo económico.

## **6. LITERATURA CITADA**

- Blanco, S., Matute, C. M., & Obregón Castrillo, S. 2009. El enfoque de género en la gestión y manejo de cuencas: el caso de la subcuenca Aguas Calientes, Nicaragua (No. CATIE ST IT-379). CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- Catarina, L. O. 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas.
- FAO, FIDA y PMA. 2015. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el hambre: Balance de los desiguales progresos. Roma, FAO.
- Pasos Rippey, A. (2010). Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe. CEPAL. FAO. IICA.
- Severe, Rolord, & Vera O, María Beatriz. (2014). Caracterización de la agricultura familiar campesina, comuna de Cayes-Jacmel, Haití. Idesia (Arica), 32(3), 65-74. En: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071834292014000300009&lng=es&tlng=es.10.4067/S0718-34292014000300009](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071834292014000300009&lng=es&tlng=es.10.4067/S0718-34292014000300009). Fecha de consulta: 07 de abril de 2016.
- SAGARPA, 2012. Agricultura familiar como potencial productivo en México. En: [http://www.sagarpa.gob.mx/programas2/evaluacionesexternas/lists/otros%20estudios/attachments/42/agricultura%20familiar\\_final.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/programas2/evaluacionesexternas/lists/otros%20estudios/attachments/42/agricultura%20familiar_final.pdf). Fecha de consulta: 09 de abril de 2016



Extenso ID: 109. Víctor Daniel Ávila-Akerberg, Tanya Marcela González-Martínez, Luis ángel López-Mathamba. BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS AMBIENTALES EN UNA CUENCA PERIURBANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO. ESTRATEGIAS DE VALORACIÓN ECONÓMICA, EDUCACIÓN AMBIENTAL, CONSERVACIÓN Y TURISMO RURAL.

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Campus el Cerrillo-Piedras Blancas. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México,

Correo electrónico: [vicaviak@gmail.com](mailto:vicaviak@gmail.com); [tanyamgm@gmail.com](mailto:tanyamgm@gmail.com); [lalm18@hotmail.com](mailto:lalm18@hotmail.com)

## RESUMEN

El proyecto se desarrolla en la cuenca presa de Guadalupe (CPG), formada por los municipios de Isidro Fabela, Nicolás Romero, Jilotzingo, Cuautitlán Izcalli y Atizapán, del Estado de México. Se busca caracterizar y valorar de forma integral la biodiversidad y los servicios ambientales (BySA) por técnicas hedónicas, las cuales integran el valor económico, ecológico y sociocultural, permitiendo la combinación de características cuantitativas y cualitativas. Los SA son brindados por el paisaje de la CPG en tres diferentes zonas: (i) natural, (ii) rural y (iii) urbana. Se trabaja con SA de provisión (agua, productos forestales maderables y no maderables, alimentos de origen agrícola), de regulación (almacén y captura de carbono en suelo y árboles, calidad de agua en ríos y arroyos), culturales (actividades recreativas y de turismo) y los de soporte (conservación de la biodiversidad). Se cuenta con la identificación de más de 650 especies de plantas (más de 190 con algún uso conocido como medicinal, alimenticio, maderable, ritual y de ornato), 85 especies de hongos, 26 especies de anfibios y reptiles, 40 mamíferos, 108 especies de algas, 128 especies de aves y 38 especies de insectos. El conocimiento generado se transfiere a través de un programa de educación ambiental con concursos de carteles y charlas en escuelas, con lo que se ha logrado un acercamiento a 15,000 niños y jóvenes entre 10 y 18 años en los últimos cuatro años. Las charlas se han separado en tres temáticas: (1) Biodiversidad, bosques, agua y problemas ambientales, (2) Alimentación, salud y medio ambiente, y (3) Leyendas, tradiciones y turismo. La estrategia de turismo rural ha permitido identificar el producto turístico de la zona y su relación cercana con los BySA, en donde se tienen más de 120 atractivos (naturales y culturales), los cuales se entrelazan para crear una red de ocho circuitos turísticos diseñados para detonar el desarrollo local. Se espera que estas estrategias lleven a la conservación y aprovechamiento sustentable de los BySA en esta cuenca y zonas adyacentes.

**Palabras clave:** cuenca presa de Guadalupe, servicios ambientales, educación ambiental y biodiversidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

El valor que tiene para nosotros la biodiversidad (B) y los servicios ambientales (SA) es un reflejo de lo que nosotros como sociedad estamos dispuestos a sacrificar para conservarlos y de los vínculos que nos unen a la naturaleza. Es por esta razón que el proyecto tiene como objetivo la caracterización y valoración integral de la B y los SA brindados por los diferentes paisajes de la cuenca presa de Guadalupe (CPG), con la finalidad de compartir el conocimiento generado a niñas y niños que habitan en la cuenca.

Se está caracterizando y valorando continuamente los SA ofrecidos por la biodiversidad de plantas, animales y hongos. Actualmente se trabaja con los SA de provisión (agua en ríos y arroyos, productos forestales maderables y no maderables, alimentos de origen agrícola), los de regulación (almacén y captura de carbono en suelo y árboles, calidad de agua en ríos y arroyos) y los culturales (actividades recreativas y de turismo), con el objetivo de conservar la biodiversidad. Es importante mencionar que se utilizan diferentes



metodologías, para poder valorar de forma económica, ecológica y socio-cultural a los SA, con la intención de transmitir un valor integral y no crear sesgo en la interiorización de la importancia de la naturaleza.

Se ha creado un programa de educación ambiental, el cual va por el cuarto año consecutivo de transferencia y socialización de la información, así como la promoción de la participación social a alrededor de 15,000 niños y jóvenes de primarias, secundarias y preparatorias públicas. Se han elaborado tres diferentes charlas de educación ambiental, (1) Biodiversidad, bosques, agua y problemas ambientales, (2) Alimentación, salud y medio ambiente, y (3) Leyendas, tradiciones y turismo. Se ha identificado que en la cuenca hay tres tipos de paisaje (natural, rural y urbano), cada uno representando un diferente contexto para la transmisión y recepción de la información. Siendo necesario que el taller sea dinámico, entretenido, con fotografías y un amplio vocabulario para poder darnos a entender en los diferentes contextos geográficos y socioeconómicos. Las charlas se desarrollan con la intención de fortalecer su conocimiento ambiental, para que conserven su biodiversidad y valoren integralmente los SA que poseen.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Sitio de estudio

El área de trabajo corresponde a la cuenca de la presa de Guadalupe (CPG), la cual se ubica dentro del Estado de México, con una extensión aproximada a las 38,000 hectáreas y comprende los municipios de Isidro Fabela, Jilotzingo, Nicolás Romero, Cuautitlán Izcalli, Atizapán. Los municipios de Isidro Fabela, Jilotzingo y la parte rural de Nicolás Romero forman parte de la Sierra de las Cruces, y de la porción conocida como Bosque de Agua (Hoth, 2013). Mientras que Cuautitlán Izcalli, Atizapán y la parte baja de Nicolás Romero son espacios urbanos de la CPG, en la que escurren sus aguas a la presa de Guadalupe.

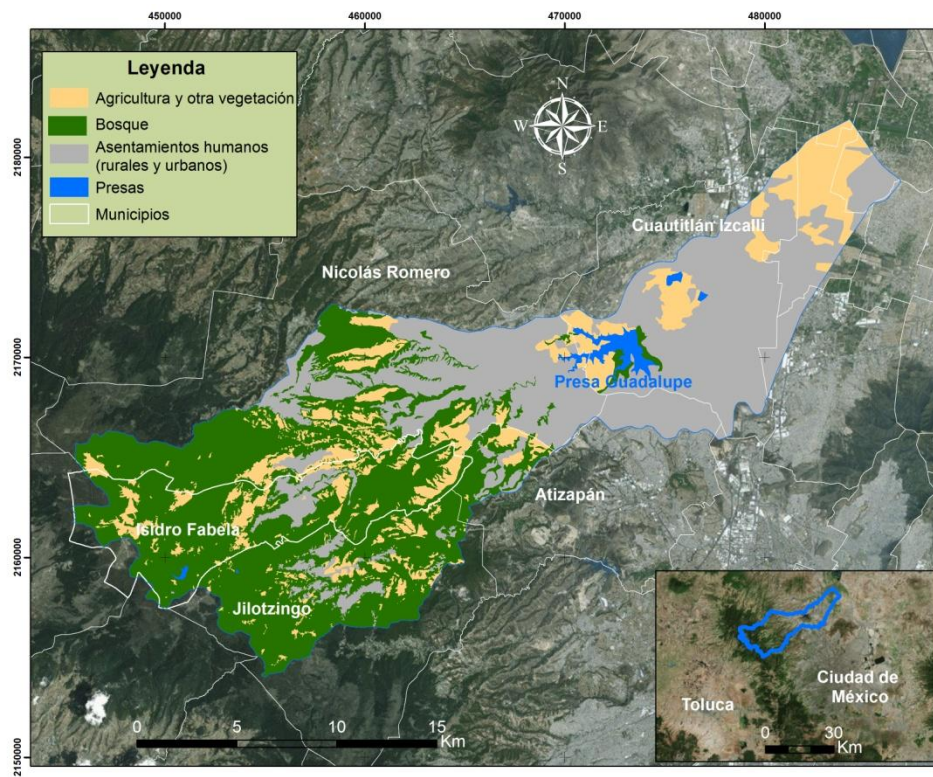


Figura 8. Mapa de la Cuenca Presa Guadalupe.

La zona de estudio comprende la porción alta (>2500 msnm) y oriental de la Sierra de las Cruces (García-Palomo et al., 2008), la cual se extiende a través de la región central del Cinturón Volcánico Transmexicano (Almeida-Leñero, 1997). Conforman la mayor parte de la línea divisoria de la cuenca del valle de México en su porción occidental, teniendo como zona de influencia directa gran parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Presenta significativas variaciones altitudinales que se traducen en un paisaje accidentado, con gran diversidad de ambientes que sostienen una importante agrobiodiversidad y riqueza forestal. Las unidades de vegetación y uso de suelo están conformadas principalmente por bosques de pino, oyamel, encino y masas mixtas en la parte alta, milpas y poblaciones rurales en la zona media y asentamientos urbanos en la zona más baja.

Es relevante mencionar que los bosques en esta cuenca y a lo largo de la Sierra de las Cruces enfrentan una alta presión antrópica, ya que se encuentran entre dos de las ciudades con mayor densidad poblacional (Ciudad de México y Toluca), por lo que es fundamental transferir información sobre la biodiversidad y los servicios ambientales, a fin de valorar sus beneficios y promover su conservación, para así contar con más elementos en la generación de alternativas para su mantenimiento y aprovechamiento sustentable.

## **2.2. La biodiversidad en México**

México es un país megadiverso dada su ubicación dentro de las regiones Neártica y Neotropical, gran variedad de climas, su historia geológica, entre otras (Rzedowski, 1978; Sarukhán & Dirzo, 2001). La CPG se ubica en la zona templada subhúmeda, característica de la mayor parte de las áreas montañosas del país (Toledo & Ordoñez, 1998). Los principales tipos de vegetación en esta región son los bosques de coníferas, bosque mixto y bosque de Quercus, mientras que el bosque mesófilo de montaña, el cual pertenece a la zona templada húmeda, representa una transición entre las regiones tropicales y templadas (Rzedowski, 1970). La flora de estos bosques de coníferas junto con la del bosque de Quercus, representan cerca de 25% del total de la flora vascular de México (ca. 7,000 especies), de las cuales ca. 4,900 especies son endémicas (Rzedowski, 1991).

El área de estudio está contenida dentro de la cuenca del Valle de México (CVM), cuenca endorreica de origen volcánico con una extensión cercana a los 7,500 km<sup>2</sup>, en la que se ubica la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), que a pesar de ser una de las ciudades más pobladas de mundo, todavía cuenta con importantes áreas con vegetación natural en sus alrededores (Aguilar, 2008), en las que se desarrollan cerca del 2% de las plantas del planeta (Rzedowski & Rzedowski 2001).

## **2.3. Metodología**

El proyecto caracteriza de forma continua la biodiversidad y los servicios ambientales, para generar información que nos permita preservar la biodiversidad por medio de tres estrategias, (1) la valoración hedónica (método económico) que integra el valor ecológico, económico y sociocultural, (2) la educación ambiental a niños y niñas estudiantes a nivel de primaria, secundaria y preparatorio, y (3) turismo rural por medio de circuitos turísticos.

### **2.3.1. Metodología de la valoración de los SA**

El primer paso se refiere a la comprensión de la valoración de los servicios ambientales (VSA). Los servicios ambientales (SA) son los bienes y servicios que el ser humano obtiene de su entorno natural (De Groot et al., 2002; Turner et al., 2008) o los beneficios que los ecosistemas le brindan a la humanidad de forma directa e indirecta para su bienestar y desarrollo (Challenger, et al., 2009; Millennium Ecosystem Assessment, 2003). Los SA y por lo tanto la VSA tienen un origen antropocéntrico, por lo que el valor es basado en los beneficios las personas obtienen, en donde se puede valorar de forma ecológica, económica y sociocultural.

Se utiliza la técnica de precios hedónicos, la cual forma parte de la valoración económica indirecta del mercado, integrando características cualitativas y cuantitativas, por medio de ecuaciones econométricas. Por

un lado se busca estimar el valor económico directo del mercado como característica cuantitativa, mientras que las características cualitativas están formadas por los valores ecológico y sociocultural. El valor socioeconómico se estimada a través de aproximaciones de la etnobiología, por medio de entrevistas semi-estructuras a actores clave y el índice significativo de importancia cultural de las plantas. La valoración ecológica se analiza a través de las relaciones entre la biodiversidad y las prácticas culturales tradicionales, identificando cómo se liga con la naturaleza con ella misma y cómo favorecen el desarrollo cultural y bienestar humano.

Los servicios ambientales se analizan por medio de su distribución dentro del paisaje de la CPG, en donde se tienen identificadas tres zonas: la natural, rural y urbana. Cada zona tiene características particulares, la zona natural tiene mayor densidad de plantas silvestres y menor densidad poblacional, la zona urbana tiene mayor densidad poblacional y menor densidad de plantas silvestres, lo que significa que la zona rural está en un punto intermedio con ambas características. El análisis del paisaje es importante para comprender el valor integral (económico, ecológico y sociocultural), ya que en cada zona se tienen diferentes usos de la biodiversidad, lo que tiene un impacto directo en su valoración.

### **2.3.3. Metodología para la educación ambiental**

Bajo el programa de educación ambiental se enfatiza el cuidado y buen aprovechamiento de los bosques, dando a conocer la biodiversidad que estos albergan, los servicios ambientales que proveen, las oportunidades para su manejo sustentable y sus problemáticas ambientales actuales. Todo esto bajo el enfoque de cuencas, haciendo más perceptible la relación que guardan estos territorios por la manera en que escurre el agua. Las milpas serán otro de los socioecosistemas a trabajar, con los que se buscará hacer entender a la población de su importancia en la provisión de alimentos, preservar la diversidad de plantas comestibles y el valor cultural que esta tiene en nuestro estilo de vida e identidad regional.

Las actividades sobre educación ambiental, se iniciaron en el año 2013, lo cual nos ha permitido socializar y transferir a diferentes actores locales (especialmente niños y jóvenes que son estudiantes dentro de la CPG) cómo se distribuyen las unidades de vegetación y uso de suelo, qué biodiversidad albergan, los servicios ecosistémicos que proveen y su valoración (económica, ecológica y socio-cultural), para la preservación de la biodiversidad por medio de acciones locales.

Actualmente nos hemos enfocado las escuelas públicas y privadas a nivel primaria, secundaria y preparatoria, lo que nos ha permitido interactuar con todas las escuelas de los municipios de Jilotzingo e Isidro Fabela y con 35 espacios educativos de Nicolás Romero. Todo esto ha sido a través de impartir las charlas de educación ambiental bajo tres temáticas principales: (1) Biodiversidad, bosques, agua y problemas ambientales, (2) Alimentación, salud y medio ambiente, y (3) Leyendas, tradiciones y turismo. Se busca la transferencia y socialización de información científica de calidad, sobre la biodiversidad y los servicios ambientales, como los servicios de provisión (agua, productos forestales maderables y no maderables, alimentos en suelos agrícolas), de regulación (almacén y captura de carbono en suelo y árboles, infiltración y calidad de agua, polinización, control de plagas por murciélagos), culturales (tradiciones y leyendas relacionadas a la naturaleza, actividades recreativas y de turismo, capital social) y de soporte (conservación de la biodiversidad) en bosques y zonas agropecuarias del área de estudio, bajo la problemática del cambio climático.

Las charlas inician con la explicación sobre México como un país mega-diverso y centro de origen de plantas reconocidas a nivel mundial, como el maíz, tomate, aguacate y vainilla. Luego cada tema tiene un enfoque específico. La charla sobre biodiversidad, muestra las especies existentes y se enfoca en especies endémicas como el ajolote de montaña (*Ambystoma altamirani*), los tipos de bosques en la zona, la regulación de agua y su calidad a través de la CPG y problemas ambientales como la tala clandestina. La charla de alimentación, salud y ambiente se divide en tres subtemas: alimentos locales obtenidos de la naturaleza, los alimentos



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

procesados y su aporte calórico y la basura generada por el consumo de alimentos procesados. Mientras que la charla de leyendas, tradiciones y turismo, muestra los lazos de la zona de estudio con la cultura Otomí, las tradiciones actuales y leyendas locales sobre los recursos naturales y creencias populares, lo que permite integrar todos los elementos en herramientas para turismo rural, el cual se busca promover de forma organizada a través de circuitos turísticos que muestren los productos turísticos naturales y culturales de la CPG.

Como puntos adicionales en la educación ambiental, los estudiantes llenan un cuestionario sobre cada charla que reciben, en el que se busca conocer sus percepciones y opiniones, lo que permite comprender su situación local para luego socializar los resultados con ellos mismos, durante la siguiente ronda de charlas. Además, se hace un concurso de carteles sobre los temas de educación ambiental, en el que se promueve la participación social, de los estudiantes y más personas, especialmente las familias, lo cual permite alcanzar mayor cantidad de actores locales de forma indirecta y fomentar un diálogo en los hogares.

### **2.3.2. Metodología para turismo rural con circuitos turísticos**

La propuesta de turismo rural por medio de circuitos turísticos (Villegas-Martínez, et al., 2016), se desarrolla en Isidro Fabela, a través de la colaboración de diferentes sectores (Academia, Municipio, Bienes Comunales, artesanos). Se percibe un gran potencial del municipio para promover el turismo, así como un distanciamiento de la sociedad con la naturaleza. No existen suficientes fuentes de empleo locales, por lo que Isidro Fabela se ha convertido en un municipio dormitorio, con el 90% de la población bajo algún nivel de pobreza y la economía se sostiene en actividades del sector terciario. Se propone el desarrollo endógeno para estimular el crecimiento económico y social, basado en el turismo rural por medio de circuitos turísticos que estimulan actividades turísticas planeadas, ordenadas y sustentables, para acercar a la población y a los turistas con los recursos naturales y culturales, propiciando la conservación de las partes altas de la CPG.

Primero se caracterizó el territorio por medio del método geográfico y la ecología cultural, lo que permite identificar y caracterizar los recursos turísticos por medio de cartografía participativa, el método geográfico y el método de encuesta. Luego la información geográfica fue analizada por medio de teledetección, fotointerpretación y Sistemas de Información Geográfica. Recurriendo como paso final a medir la viabilidad del diseño de circuitos turísticos, por medio de talleres participativos, evaluación multi-criterio y el Laboratorio social de Turismo Rural (Geilfus, 2012; Thomé et al., 2014).

## **3 RESULTADOS**

### **3.1. Valoración de los servicios ambientales**

La valoración de los servicios ambientales aún está en construcción, por lo que no se tienen los datos finales del valor económico, cultural y ecológico de las especies del área de estudio, aunque ya se cuenta con información relevante, como la lista florística de la CPG, la cual contiene más 650 especies de plantas, de las cuales 190 están dentro de alguna categoría de uso: alimenticia, maderable, medicinal, ritual y de ornato. También, se han identificado 85 especies de hongos, 26 especies de anfibios y reptiles, 40 mamíferos, 108 especies de algas, 128 especies de aves y 38 especies de insectos.



Tabla 1. Ejemplos de especies identificadas, uso local y relación con otras especies.

No.	Plantas		Uso local	Contexto local
1	<i>Amanita muscaria</i>	Hongo	Es un hongo venenoso usado para repeler mosquitos y moscas de las casas.	Se dicen que estos hongos son primos, debido a que se pueden encontrar uno cerca del otro.
	<i>Boletus edulis</i>	Hongo	Es un hongos comestible.	
2	<i>Flammulina mexicana</i>	Hongo	Es un hongos comestible.	El hongo de la jara (F. mexicana) crece sobre ramas de jara muerta (hongo saprobio).
	<i>Senecio cinerarioides</i>	Plantas arbustiva	Es un arbusto, se utiliza su flor para decorar las puertas de las casas en una celebración local.	
3	<i>Arceuthobium vaginatum</i>	Planta hervacea	Planta utilizada para alimentar a los borregos, consumirlo en exceso tiene efectos tóxicos.	Planta parasita de <i>P. hartwegi</i> .
	<i>Pinus hartwegii</i>	Planta arborea	Pino utilizado para obtener madera y leña.	

Actualmente se está trabajando en la caracterización de los SA de la biodiversidad identificada, por lo que se busca conocer los usos y beneficios que la población local le da a cada especie, así como el valor económico directo de cada uso que cada especie tiene reportado. Además, la valoración ecológica permite conocer los hábitos tradicionales que aportan en la preservación de la biodiversidad y el uso de los SA. Esta información se utilizará para construir el valor hedónico, el cual integrará el valor económico, ecológico y sociocultural, porque las características cualitativas y cuantitativas se podrán representar en un mismo valor económico de forma simultánea.

Ya se ha trabajado en la distribución dentro del paisaje de la CPG, en donde se tienen identificadas tres zonas: la natural, rural y urbana. Dentro de cada zona del paisaje se han identificado sus respectivos ecotopos (unidad mínima del paisaje). Por ejemplo, la zona natural que es reconocida por ser boscosa, se tienen identificados los ecotopos de bosque de pino, oyamel y encino y pastizales naturales. Lo que permite identificar la distribución natural de las plantas y los diferentes usos de estas en cada zona del paisaje de la CPG.

### 3.2. Educación ambiental

Para conocer el progreso, interés y aceptación de las charlas de educación ambiental se han desarrollado herramientas para utilizarse como “indicadores” y mecanismos de “seguimiento” y de “evaluación”. Esta información representa los resultados del periodo 2013 al 2016, en los municipios de Isidro Fabela, Jilotzingo y Nicolás Romero, lo que nos ha permitido hacer mejoras en la metodología, diseño y planificación del programa del programa de educación ambiental (Ávila-Akerberg y González-Martínez, 2016).

Tabla 2. Indicadores de progreso del programa de educación ambiental, periodo 2013-2016.





# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

Indicadores	Isidro Fabela				Jilotzingo		Nicolás Romero
	2013	2014	2015	2016	2015	2016	2016
	Biodiversidad	Biodiversidad	Alimentación	Tradición	Biodiversidad	Alimentación	Biodiversidad
Porcentaje de escuelas que aceptan que se imparta una jornada de educación ambiental.	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Porcentaje de estudiantes que participan llenando el cuestionario sobre educación ambiental de una de las jornadas de educación ambiental.	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Porcentaje de escuelas que participan en el concurso de carteles sobre educación ambiental.	90%	85%	80%	75%	90%	90%	95%
Porcentaje de estudiantes que participan en el concurso de carteles de una de las jornadas de educación ambiental.	60%	60%	55%	50%	75%	65%	40%
Porcentaje de escuelas a las que se les retroalimenta con los resultados de los cuestionarios sobre las jornadas de educación ambiental.	-	0%	0%	0%	-	0%	-

Tabla 3. Evaluación de seguimiento del programa de educación ambiental, periodo 2013-2016.

Seguimiento	Isidro Fabela				Jilotzingo		Nicolás Romero
	2013	2014	2015	2016	2015	2016	2016
	Biodiversidad	Biodiversidad	Alimentación	Tradición	Biodiversidad	Alimentación	Biodiversidad
Porcentaje de escuelas aceptan recibir una nueva jornada de educación ambiental.	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Porcentaje de estudiantes que participan llenando el cuestionario sobre educación ambiental en una nueva jornada de educación ambiental.	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Porcentaje de escuelas que vuelven a participar en el concurso de carteles de una de las jornadas de educación ambiental.	90%	88%	85%	83%	90%	90%	95%
Porcentaje de estudiantes que participan en el concurso de carteles de una nueva jornada de educación ambiental.	60%	60%	58%	56%	75%	70%	40%
Porcentaje de escuelas a las que se les retroalimenta con los resultados de los cuestionarios sobre las jornadas de educación ambiental.	-	0%	20%	10%	-	10%	-

Tabla 4. Evaluación del programa de educación ambiental, periodo 2013-2016.

Evaluación	Isidro Fabela	Jilotzingo	Nicolás Romero
	2013 - 2016	2015 - 2016	2016
Porcentaje de escuelas que aceptan todas las jornadas de educación ambiental.	100%	100%	100%
Porcentaje de estudiantes que participaron en los cuestionarios sobre educación ambiental.	100%	100%	100%
Porcentaje de escuelas que participaron en los concursos de carteles en el total de jornadas sobre educación ambiental.	83%	90%	95%
Porcentaje de estudiantes que participaron en los concursos de carteles en el total de jornadas sobre educación ambiental.	56%	70%	40%
Porcentaje de escuelas a las que se les retroalimenta con los resultados de los cuestionarios sobre las jornadas de educación ambiental.	10%	10%	-

## 3.3. Turismo rural

Se tiene como resultado la caracterización del municipio de Isidro Fabela, en el cual es clave mencionar que es un área rural con bajo deterioro ambiental y cultural, a pesar de que se encuentra geográficamente cerca de las ciudades de México y Toluca. En conjunto con el desarrollo de ocho circuitos turísticos que se plantean como propuesta de desarrollo local, en el que se identificaron 112 recursos turísticos, de los cuales 28 son culturales, 16 folclóricos y 68 naturales.

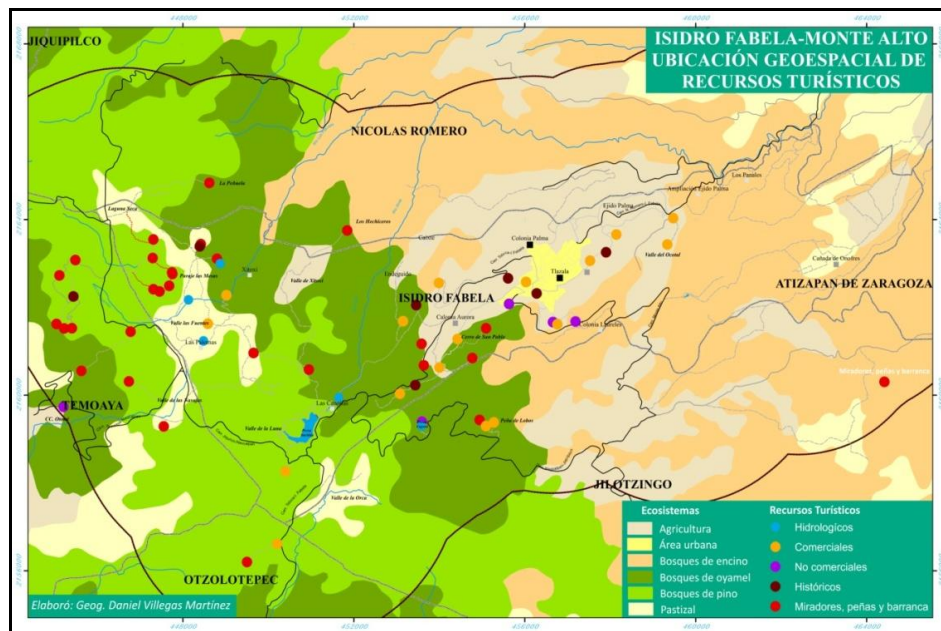


Figura 2. Ubicación geoespacial de recursos turísticos de Isidro Fabela y la región de Monte-Alto, Estado de México.

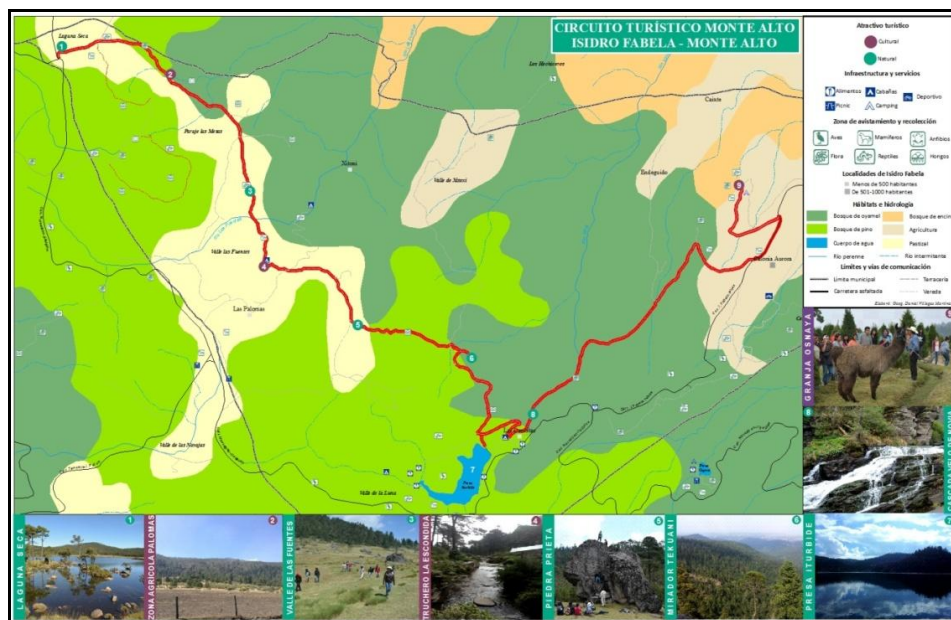


Figura 9. Ejemplo de un circuito turístico.

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Se trabaja con tres actividades de forma simultánea, las cuales se complementan y buscan la conservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad. La VSA permite identificar la biodiversidad y luego interpretar el valor integral (económico, ecológico y sociocultural) de las especies dentro de la CPG.

##### **4.1. Valoración de los Servicios Ambientales**

La VSA es importante para reconocer los usos directos e indirectos de la biodiversidad, por lo que está trabajando en representar el valor integral de los SA. Lo que permitirá reconocer el valor ecológico, sociocultural y económico de las especies identificadas, con la intención que éstas sean reconocidas como importantes o útiles dentro del contexto local de la CPG, lo cual es con un enfoque antropocéntrico.

La identificación de las especies que conforman biodiversidad es un paso relevante, el cual permite realizar la valoración integral de los SA y de las especies identificadas. Además, permite reconocer el valor intrínseco de existencia de estas. Lo cual hace la VSA más importante, porque no sólo se ve a las plantas desde el punto de vista que beneficia a la humanidad, sino que también se reconoce su existencia, sin la necesidad de obtener algún beneficio directo o indirecto.

##### **4.2. Educación ambiental**

El gran reto de la educación ambiental es lograr que las personas comprendan que las acciones individuales pueden contribuir, remediar o prevenir el daño ambiental. Es fundamental transmitir a las nuevas generaciones la noción de que la forma en la que usamos y manejamos los recursos naturales incide en el legado que dejaremos a las generaciones venideras. La educación ambiental pretende recuperar el proceso que lleva a comprender y apreciar la relación mutua entre el hombre, su cultura y el ambiente natural, esperando que de esta revalorización se refleje en un aprovechamiento racional de los recursos naturales, con una visión que reconozca el valor intrínseco del sistema natural completo, más allá de la perspectiva utilitaria.

##### **4.3. Propuesta de turismo rural con circuitos turísticos**

El territorio de la parte alta de la CPG cuenta con una gran cantidad de recursos turísticos (114 identificados hasta ahora), los cuales pueden ser admirados a través de circuitos turísticos, lo que puede promover una fuente de empleos y derrama de recursos, de una manera ordenada y sustentable. Es fundamental minimizar los riesgos e impactos negativos del turismo a futuro sobre el medio ambiente y las manifestaciones socioculturales del territorio.

La propuesta a través de circuitos turísticos permitirá que surjan figuras locales que funjan como guías e intérpretes del territorio, lo que al mismo tiempo hará que el conocimiento de los recursos locales sea preservado y transferido. Además, se espera que los guías nutran de conocimiento local el programa de turismo rural, lo cual hará que ellos mismos sean los encargados del encadenamiento entre visitantes, recursos turísticos, infraestructura y productos locales del territorio.

La información generada también puede ser empleada para buscar el estatus de Pueblo con Encanto o Pueblo Mágico, lo que haría más atractiva la región y promovería la inversión bajo diferentes programas de gobierno. Sin embargo, falta capacitación a actores locales para que funcionen como intérpretes del territorio, así como análisis de las capacidades de carga de los circuitos turísticos.

#### **5. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecemos del apoyo y contribución de todos los estudiantes parte de este proyecto (Carmen Mejía, José Luis Cíntora, Silvana Escalante, Citlali Reyes, Isabel Ramírez, Dennise Rodríguez, Daniel



Villegas, Rubén Rosalio, Gustavo Pérez), así como a las autoridades municipales y de los núcleos agrarios que integran la cuenca de la presa de Guadalupe.

## **6. LITERATURA CITADA**

- Aguilar, A.G. 2008. Peri-urbanization, illegal settlements and environmental impact in Mexico City. *Cities* 25:133-145.
- Almeida-Leñero, L. 1997. "Vegetación, fitogeografía y paleoecología del zacatonal alpino y bosques montanos de la región central de México". Tesis doctoral, Universidad de Amsterdam. 255 p.
- Ávila-Akerberg, V. y González-Martínez, T. 2016. Participación social y educación ambiental para la conservación. Un estudio de caso con niños y jóvenes de una zona rural periurbana. *Teoría y Praxis* 19:119-136.
- Challenger, A., Instituto Nacional de Ecología, & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). [http://www.inecc.gob.mx/descargas/con\\_eco/2009\\_sem\\_ser\\_amb\\_pres\\_01\\_achallenger.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/con_eco/2009_sem_ser_amb_pres_01_achallenger.pdf). Recuperado el 11 de 05 de 2016, de [http://www.inecc.gob.mx/descargas/con\\_eco/2009\\_sem\\_ser\\_amb\\_pres\\_01\\_achallenger.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/con_eco/2009_sem_ser_amb_pres_01_achallenger.pdf)
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* (41), 393-408. Recuperado el 15 de noviembre de 2015
- García-Palomo, A., J. J. Zamorano, C. López-Miguel, A. Galván-García, V. Carlos-Valerio, R. Ortega, and J. L. Macías. 2008. *El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 25:158-178.
- Geilfus, F. (2002). *80 herramientas para el desarrollo participativo*. IICA. San José, Costa Rica.
- Hoth, J. 2013. Iniciativa del Bosque de Agua. Fundación Biósfera del Anáhuac.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2003). *Ecosistemas y Bienestar Humano: Marco para la Evaluación*. World Resources Institute.
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski. 2001. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. CONABIO-Instituto de Ecología, A. C. México. 1406 p.
- Rzedowski, J. 1970. Nota sobre el bosque mesófilo de montaña en el Valle de México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 18: 91-106.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D.F. 432 p.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la Flora Fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14: 3-21.
- Sarukhán, J. y Dirzo, R. 2001. Biodiversity-rich countries. In: Levia, S.A. (ed.). *Encyclopedia of Biodiversity*. Academic Press. San Diego, California. pp. 30-45.
- Thomé, H., Jiménez, A. y Vizcarra, I. (2014). Turismo micológico y etnoconocimiento, escenarios de desarrollo endógeno en espacios forestales. UAEMex. México.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

- Toledo, M. y M. J. Ordoñez. 1998. El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. In: Ramamoorthy, T. O., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp. 739-755.
- Villegas, D., Ávila-Akerberg, V., Juan, J., Gómez, W. (2016). Turismo rural como estrategia de desarrollo local en Isidro Fabela y la región de Monte Alto, Estado de México (Tesis de maestría). Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. México.





Extenso ID: 342. Fernando Gumeta-Gómez, Elvira Durán Medina. ACCIÓN COLECTIVA LOCAL PARA LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO ATOYAC, OAXACA, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad-Oaxaca.

<sup>1</sup>[fernandgu3@gmail.com](mailto:fernandgu3@gmail.com), <sup>2</sup>[eduran3@hotmail.com](mailto:eduran3@hotmail.com)

## RESUMEN

Debido a la subexplotación y contaminación, el acuífero de Valles Centrales en la subcuenca del río Atoyac, Oaxaca, está en veda desde 1967. Hasta ahora, los esfuerzos gubernamentales para su recuperación no han frenado su deterioro; en consecuencia, la zona conurbada de la ciudad de Oaxaca padece creciente escasez y mala calidad del agua potable. En contraste, hay poblaciones periféricas, que tienen un abasto aceptable y cuidan la recarga hídrica. Se documentó la acción colectiva local para la provisión de agua y la conservación y restauración de áreas de recarga hídrica en microcuencas del río Atoyac. Se realizó cartografía participativa para determinar la cobertura forestal de cuatro microcuencas (río Valiente en el municipio de Cuilapam, río Grande en el Municipio de Santa Catarina Minas, río Verde en el municipio de San Martín Tilcajete y río San Sebastián del municipio de San Felipe Tejalapam). En cada caso, se ubicaron las instituciones locales de gobernanza (Comités del Agua Potable (CAs), autoridades agrarias y municipales). Se aplicaron 305 entrevistas a usuarios y actores claves relacionados con el sistema hidráulico e hidrológico. Se encontró que los CAs han logrado abastecer la demanda y establecer reglas de participación social, rendición de cuentas y sanciones para regular el uso del agua y promover acción colectiva. Hubo una tendencia de mayor cobertura forestal y más acciones de conservación y restauración de áreas de recarga hídrica en las microcuencas, cuando fue mejor la coordinación entre las diferentes instituciones locales. Los CAs han operado por casi cuatro décadas, pero su existencia es desconocida por la Ley, la academia y la sociedad. A nivel global existen la tendencia de fortalecer los sistemas tradicionales de gestión y gobernanza del agua que mediante participación han logrado que el abasto de agua sea más eficiente y justo, pero sobre todo porque tienen potencial para promover acción colectiva local de largo plazo para conservar y recuperar áreas de recarga hídrica. Consideramos que fortalecer los CAs y extender este modelo podría ayudar a cubrir demanda y paulatinamente revertir la condición de subexplotación del acuífero de la Subcuenca del río Atoyac.

Palabras clave: Gobernanza local del agua, gestión de recursos naturales, manejo de cuencas, Participación social, Comités del Agua Potable

## 1 INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para la vida humana y un derecho fundamental (ONU, 2010). Sin embargo, los sistemas naturales provisorios de agua están sufriendo fuerte embates por sobreexplotación, contaminación, así como por interrupciones en la precipitación y recarga hídrica debido a cambios de uso de suelo y efectos del cambio climático (Iglesias et al., 2007). Por ello, se considera que ya existe una crisis del agua y una de las preocupaciones principales es por el agua para consumo humano (CNUMP, 1977; Arlington Institute, 2015). Solventar la crisis del agua, requiere de una visión holística que permita determinar y entender todos los componentes que alteran o limitan su disponibilidad en buena cantidad y calidad (Gourbesville, 2008). En este sentido, el agua para consumo humano puede considerarse como un recurso que está inmerso

dentro de un complejo sistema social-ecológico (SSE; Madrigal et al., 2011), el cual se compone de acuerdo a McGinnis y Ostrom (2014) de: 1) sistema del recurso (la cuenca hidrográfica y sus subcuencas y microcuencas), 2) unidad del recurso (agua y recursos asociados como los bosques), 3) actores (los que se apropian, proveen y usan las unidades del recurso) y 4) sistema de gobernanza (los procesos e instituciones de toma de decisiones que determinan los objetivos de gestión; Lautzen et al., 2011). En donde, cualquier cambio en sus componentes afecta al resto de los mismos y la dinámica de todo el sistema (Berkes y Folke, 1998). Sin embargo, la crisis actual del agua se considera que tiene sus orígenes mayormente en su componente social: actores y sistemas de gobernanza (WWAP, 2006) y es a través de la gobernanza efectiva y los actores del agua que se puede orientar las soluciones a la crisis del agua, principalmente a escala local (Ostrom, 1990; Roger y Hall, 2003).

Generalmente, los sistema de gobernanza del agua para uso humano se ha implementado a través de instituciones centralizadas del Estado (Ostrom, 1990), donde México no es la excepción. De acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales de México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es el organismo encargado de tomar decisiones para establecer los objetivos de gestión de los recursos hídricos del país, y a una escala más local, los municipios son los responsables, acoplados a los objetivos establecidos por la CONAGUA (Ley de Aguas Nacionales, 2004). Sin embargo, el principal enfoque para solventar la escasez de agua de este tipo de gobernanza centralizada ha sido mediante la construcción de infraestructura hidráulica, careciendo de un enfoque integral que considere una adecuada gestión en las cuencas hidrográficas (Gourbesville, 2008). Aunado a esto, los sistemas de gobernanza centralizadas han sido criticados por problemas de corrupción, desvíos de fondos, rendición de cuentas nula o poco claras, sectorización y politización de los recursos económicos y naturales, entre otros (Castro et al., 2004; Zurbriggen, 2011). Recientemente, se ha discutido el papel que juegan los propios usuarios del agua como los actores para asegurar el recurso hídrico a través de sistemas de gobernanza locales, los cuales han surgido por autoorganización, y han establecido un sistema de reglas e instituciones para gestionar el agua, e incluso para intervenir en el sistema hidrológico del agua, es decir en las áreas de recarga hídrica y en las descargas residuales (Madrigal et al., 2011; Gumeta-Gómez et al., *en prensa*). El caso de los sistemas de gobernanza local del agua ha sido poco documentados, comparado con otros sistemas de gobernanza en México, como el de la gestión de la tierra y los bosques en las comunidades y ejidos (Duran et al., 2011; Bray, 2013). Su poca documentación, probablemente se deba a su falta de reconocimiento en la ley de aguas nacionales (Gumeta-Gómez et al., *en prensa*), por lo que aún se desconocen mucho acerca de estos sistemas, principalmente su potencial para gobernar y gestionar el recurso agua de manera integral y sustentable.

La subcuenca del río Atoyac-Oaxaca se encuentra la región de los Valles Centrales, que alberga a un tercio de la población del estado de Oaxaca (INSO, 2014). Debido a la subexplotación y contaminación, este acuífero se encuentra vedado desde 1967. Hasta ahora, los esfuerzos gubernamentales para su recuperación no han frenado su deterioro; en consecuencia, la zona conurbada de la ciudad de Oaxaca padece creciente escases y mala calidad del agua potable (INSO, 2014). En contraste, hay poblaciones periféricas en la subcuenca del río Atoyac, que tienen un abasto aceptable y que incluso cuidan la recarga hídrica a través de instituciones de gobernanza locales denominados comités de agua (CAs; Gumeta-Gómez et al., *en prensa*). Por ello, el objetivo de este trabajo fue documentar la acción colectiva local para la provisión de agua y la conservación y restauración de áreas de recarga hídrica en microcuencas del río Atoyac de Oaxaca.



## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

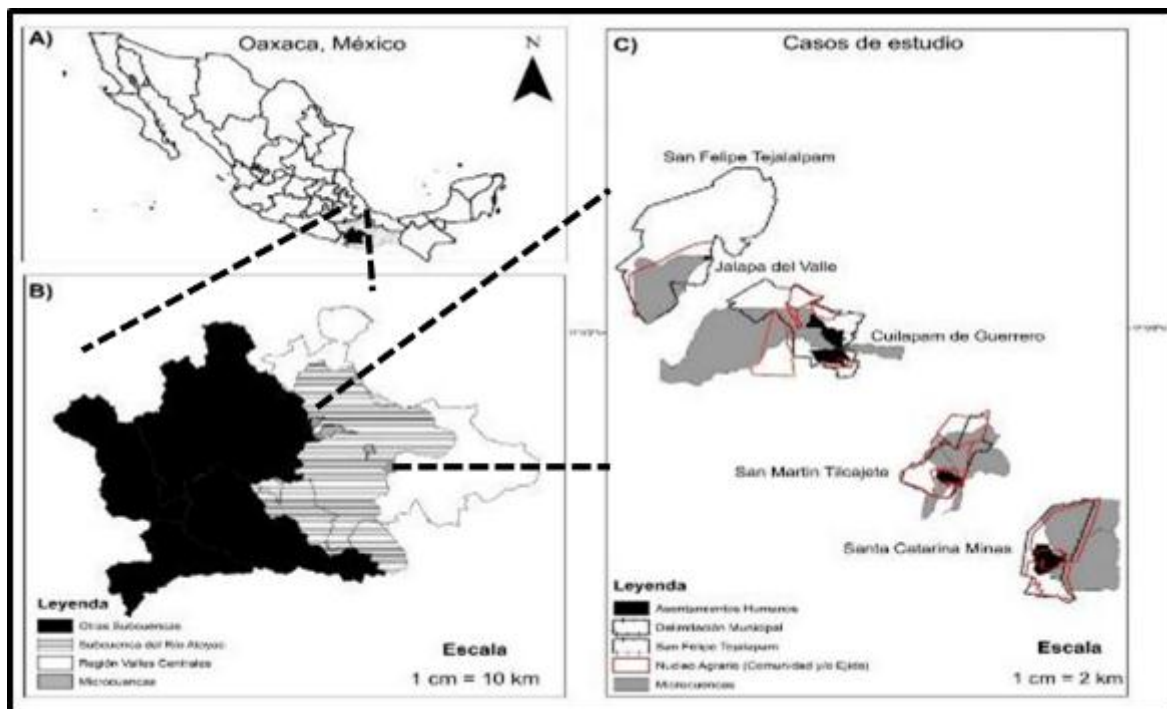
La subcuenca del río Atoyac, pertenece en un 75.57% a la región de los Valles Centrales del Estado de Oaxaca, México y comprende 285 microcuencas, que se encuentran dentro de los límites municipales de 143 municipios y 212 núcleos agrarios. El estudio se realizó en cuatro comunidades como casos de estudio, asentadas en 6 microcuencas (Tabla 1, Figura 1). Las cuatro comunidades se seleccionaron considerando: 1) factibilidad logística, 2) extensión de la microcuenca relativamente comparable, 3) que presentaran régimen de gobernanza del agua para uso doméstico mediante CAs. En este estudio se cumplió con la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas (Mackay, 2004), al obtener consentimiento previo, libre e informado de los actores locales para realizar el estudio (autoridades municipales, agrarias de bienes comunales o ejidales y de los CAs).

### Cobertura forestal

Para cada microcuenca se generaron mapas de cobertura y usos del suelo a partir de métodos de cartografía participativa propuesta por Durán et al. (2014). Las microcuencas fueron delimitadas usando un Modelo Digital de Elevación (resolución de 30m; INEGI, 2014) y con las herramientas de hidrología de ARCGIS 10.1. Se creó un buffer de 3 km para cada microcuenca. Para la percepción remota se utilizó una imagen de satélite LANDSAT 8 OLIS (del 22 de Marzo del 2014) obtenida del servidor [www.glovis.com](http://www.glovis.com), a la cual se le realizó la corrección radiométrica, geométrica (con error cuadrático medio permisible de  $RMS < 0.15$ ; Chuvieco, 2002), y topográfica (método propuesto por Minaert, 1941). Se realizó una clasificación supervisada de la imagen de satélite con puntos de control obtenidos en campo, en base al algoritmo de máxima similitud con clase nula y con el uso del software ENVI 5.1. Se establecieron las siguientes clases: 1) bosque (bosques primarios y secundarios de pino, pino-encino, encino-pino y encino, selva baja caducifolia y matorral xerofítico), 2) sin vegetación aparente (zonas sin vegetación, rocas, áreas erosionadas), 3) áreas antrópicas (asentamientos humanos, pastizales inducidos, cultivo de temporal y permanentes) y 4) cuerpos de agua (represas, retenes y muros de gaviones).

Casos de estudio				
Características	Cuilápam	Jalapa	Tilcajete	Minas
Municipio	Cuilápam de Guerrero	San Felipe Tejalapam	San Martín Tilcajete	Santa Catarina Minas
Tenencia de la Tierra	Comunidad/ejido propiedad privada	y Ejido	Comunidad/ejido	Comunidad
No. De CAs estudiados	4/8	1	1	1
Microcuencas	río Valiente	río San Sebastián	río Verde y río Pecado	río Grande y río Chico
Área de la microcuenca que abastece de agua (ha)	6931	2516	2324	2723

**Tabla 1.** Características de los casos de estudios seleccionados. El caso de Cuilápam está conformado por ocho CAs, uno por cada barrio, de los cuales fueron seleccionados la mitad para este estudio. En los casos de Tilcajete y Minas, los CAs están asentados sobre dos microcuencas.



**Figure 1.** a) Macrolocalización de la Cuenca del río Verde-Atoyac, en el estado de Oaxaca, México. b) Subcuencas del río Verde-Atoyac (achurado) y las microcuencas donde se asientan los casos de estudio (gris). C) microcuencas, delimitaciones municipales y núcleos agrarios (comunidad y/o ejidos), donde se ubican los CAs estudiados

La imagen clasificada se validó comparando 300 puntos aleatorios generados dentro del área de interés, contra las categorías definidas en la clasificación preliminar (Congalton y Green, 1999). El análisis de confiabilidad de la imagen clasificada se basó en la revisión de la matriz de confusión (Chuvieco, 2002), hasta alcanzar un índice de Kappa final de entre 0.77 y 0.82 y con firmas de separabilidad de 1.97 a 1.99, aceptables (Mas y Ramírez, 1996).

### **Acciones colectiva para abasto de agua, la conservación y restauración de las áreas de recarga hídrica**

Se seleccionaron a partir de revisión bibliográfica variables que determinan la eficiencia en la provisión del agua, siendo estas: a) el porcentaje de abasto de agua en los hogares, b) porcentajes de fugas en el sistema de agua, c) eficiencia económica (entendida esta como el balance entre los ingresos y egresos), 4) así como la satisfacción de los usuarios del servicio del agua (Madrigal et al., 2011; van Leeuwen y Chandy, 2013). Dicha información se obtuvo a partir de la revisión de documentos del sistema de agua potable (como informes semestrales, actas de asambleas, y registros del sistema hidráulico internos) y aplicación de entrevistas semiestructuradas. Para la obtención de información de las acciones de conservación y restauración se utilizó entrevistas informales a: i) los líderes y representantes los siete CAs y Comisarios Ejidales y/o Comunales, ii) los funcionarios de las instituciones gubernamentales relacionados con el agua como Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y de cuatro Municipios de los que forman parte los CAs, y iii) representantes de fundaciones Rodolfo Morales en Ocotlán de Morelos, Oaxaca y de una empresa privada de construcción. También se utilizó observación participante (Puri, 2011) en asambleas y en recorridos realizados al área de recarga hídrica de la microcuencas.

### **Sistema de gobernanza del agua**

A partir de revisión de literatura, se seleccionaron variables del sistema de gobernanza del agua y de otros casos como del bosque, que pudieran influir en la acción colectiva de los usuarios. Las variables seleccionadas fueron: a) coordinación entre instituciones (Ostrom, 1990; Durán et al., 2011), b) rendición de cuentas, c) sanciones graduadas y reglas para los integrantes del CAs, d) la participación de los usuarios y e) la equidad de género (Ostrom, 1990; Madrigal et al., 2013). Cabe destacar que la coordinación entre instituciones o también llamada gobernanza de múltiple nivel, fue medida a partir del número de actores que se involucran en los procesos de toma de decisiones o en las gestiones del agua. Dichas variables fueron obtenidas a partir de las entrevistas semiestructuradas.

Las entrevistas semiestructuradas fueron aplicadas a dos grupos: i) usuarios del agua elegidos al azar y ii) actores claves seleccionados por el método de bola de nieve (usuarios que en ese momento estaban ocupando un cargo en la junta directiva del CAs, en el municipio y en el comisariado ejidal o de bienes comunales; o que lo ocuparon en el pasado). Las entrevistas para los usuarios del agua consistieron de 112 preguntas repartidas en 5 secciones, para este trabajo solo se utilizaron las secciones: 1) datos generales, 2) sobre las asambleas, reglas y sanciones, y 3) suministro del agua. Las entrevistas para los actores clave consistieron de 135 preguntas, divididas en 5 secciones, de las cuales se utilizaron para este trabajo: 1) datos generales, 2) organización del sistema del agua e historia, y 3) reglas y sanciones. La aplicación total de la entrevista duro entre 40 y 60 min.

### **Análisis de la información**

Con el cruce de información de los distintos informantes y con observación participante (Bernard, 2005), se analizaron de manera descriptiva la relación entre las variables del sistemas de gobernanza y la cobertura forestal, la provisión del agua, y las acciones de conservación y restauración.



### 3 RESULTADOS

#### Cartografía participativa

La cobertura forestal en las microcuencas que proveen de agua a los CAs estudiados fue variable (Tabla 2). En Jalapa fue la única microcuenca en donde predominó el bosque conservado, mientras que en el resto de las microcuencas la cobertura forestal presentó condiciones prevalentemente secundarias (sensu Velázquez et al., 2002) o con algún grado de alteración.

**Tabla 2.** Áreas de las coberturas forestales y los usos de suelos de las microcuencas

CAs	Microcuencas <sup>1</sup>	Bosque		Antrópico		Cuerpo Agua		Sin Vegetación aparente		Total
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
<b>Cuilápam</b>	río Valiente <sup>2</sup>	2691.9	39.3	3951.6	57.7	NA	0	203.5	2.6	2513.5
<b>Jalapa</b>	río San Sebastián <sup>2</sup>	2080.1	82.7	368.3	14.6	0.6	0.02	64.5	2.1	2487.8
<b>Tilcajete</b>	río Verde <sup>2</sup>	658.3	28.7	1589.7	69.3	NA	0	48.1	2.1	2296.1
	río Pecado <sup>1</sup>	175.9	19.8	702.8	79	NA	0	10.5	1.2	889.3
<b>Minas</b>	río Chico <sup>1</sup>	1305.6	52.5	1127.7	45.4	2.8	0.11	51.7	5.6	2723.4
	río Grande <sup>2</sup>	303.4	11.1	2269	83.3	NA	0	151	3	6847

<sup>1</sup> Microcuencas donde están los asentamientos humanos a los que el CAs les provee el servicio

<sup>2</sup> Microcuenca donde se ubican los pozos y manantiales de los que obtienen el agua los CAs

#### Eficiencia en la provisión de agua y acciones de conservación y restauración

Todos los casos estudiados presentaron porcentajes relativamente similares, por arriba del 90% en las variables analizadas, exceptuando las variables de eficiencia económica (Figura 2, superior). En dicha variable, en Tilcajete no se pudo tener acceso a la información sobre gastos e ingresos del sistema del agua, dado que el municipio y la tesorería del municipio son los encargados de administrar los recursos económicos del agua, y se negaron a proporcionar esta información.

Para el caso de las acciones de conservación y restauración de las áreas de recarga hídrica de la microcuenca, en todas los casos estudiados, existieron diferencias en cuanto al número de acciones y la frecuencia. Destacando que el tratamiento de aguas residuales es inexistente, ya que ninguna comunidad tiene drenaje ni mecanismos para el tratamiento de sus residuos (Figura 2, inferior), y todo es a partir de fosas sépticas y/o baños secos.

#### Sistema de gobernanza

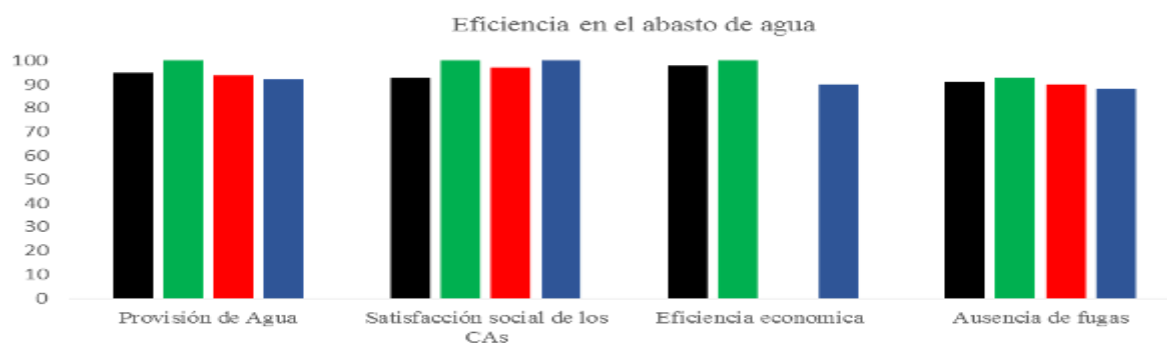
Un total de 305 entrevistas fueron obtenidas en los casos estudiados, 252 de usuarios del agua y 53 de actores claves relacionados con los sistemas hidráulico e hidrológico. Los usuarios del agua potable de los casos estudiados están autoorganizados en CAs, mediante los cuales realizan acción colectiva para poder apropiarse del recurso y realizar la provisión a los hogares. En ese sentido, la estructura básica de los CAs consistió en dos organismos principales de acción colectiva: 1) la asamblea de usuarios, que tiene la función de tomar las decisiones sobre cualquier asunto que tenga que ver con el sistema de agua y 2) la junta directiva del CAS que tiene la función de representar y ejecutar los acuerdos realizados por la asamblea de usuarios. Sin embargo a

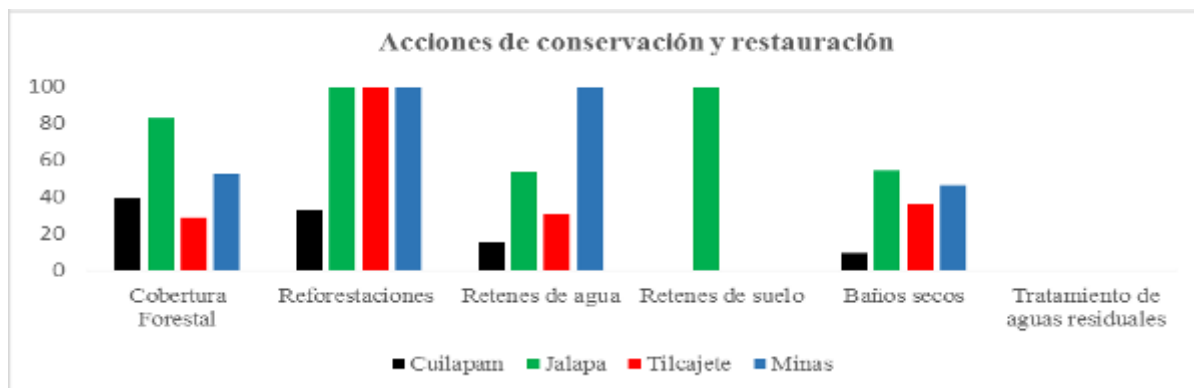
pesar que existen similitudes en su sistema de gobernanza, en las variables analizadas se encontraron pequeñas diferencias (Figura 3), siendo estas principalmente en las variables de la gobernanza de múltiple nivel, en la rendición de cuentas y en las sanciones graduadas.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

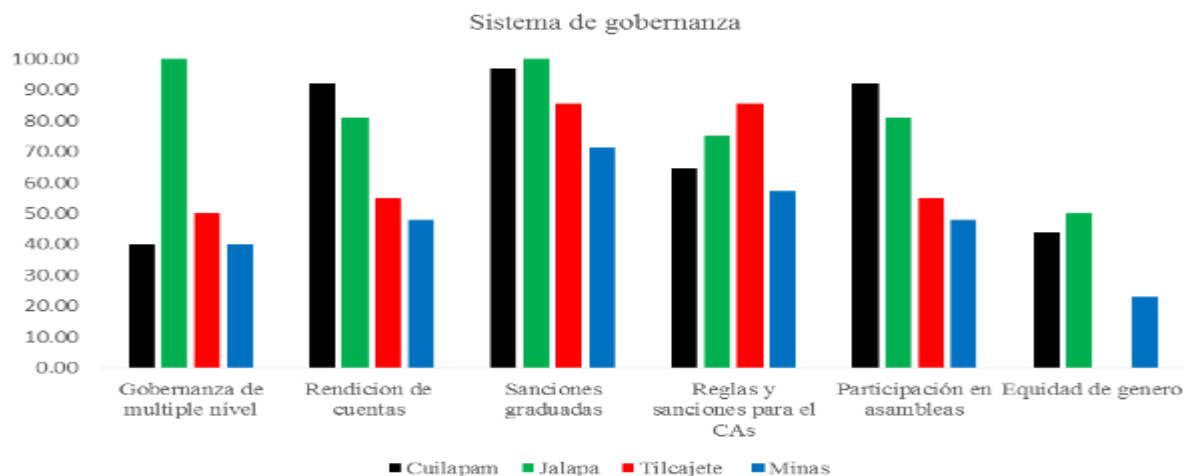
### Sistema de gobernanza, acción colectiva para la conservación y restauración, y cobertura forestal

El sistema de gobernanza define a los actores, la forma en que participan y las reglas para tomar decisiones sobre el sistema del recurso, para este caso el agua de consumo humano (Ostrom, 1990). El sistema de gobernanza implementado por los CAs, presenta básicamente la misma estructura, aunque mostraron variabilidad principalmente en los actores que se involucran (gobernanza de múltiple nivel), la participación social y las sanciones graduadas. Se considera que existe una relación entre dichas variables del sistema de gobernanza con la acción colectiva, ya sea para abasto del agua y/o para la conservación y restauración de las microcuencas. En el caso de la acción colectiva para la conservación y restauración de las áreas de recarga hídrica, se encontró que todos los CAs (aunque en diferente proporción) han logrado promoverla. En Jalapa y Minas existen los mayores niveles en la gobernanza de múltiple nivel (mayor no. de actores), en Jalapa mayor participación social y sanciones graduadas (Figura 3), que resulta en mayor número de acciones colectivas para las conservación y restauración (Figura 2 inferior). Se ha considerado que cuando existe una coordinación y buenas relaciones entre todas las instituciones locales formales e informales y externas como la gubernamentales y no gubernamentales, se pueden lograr mayores impactos positivos sobre los objetivos de conservación (Durán et al., 2011). En Jalapa y Minas, las instituciones locales como: las autoridades agrarias como Comisariado Ejidal (Jalapa) y Comisariado de Bienes Comunales (Minas) se coordinan con el Municipio, con otros comités informales como los de flora y fauna (Jalapa), los CAs y la comunidad en general para la implementación de acciones colectivas en el sistema hidrológico de las microcuencas. Estas acciones son financiadas por instituciones gubernamentales como CONAGUA (en el caso de los retenes de agua) y CONAFOR (en el caso de los retenes de suelo y las reforestaciones) para su implementación. En el caso de Cuilapam, aunque presentó valores de participación social y sanciones graduadas similares a los de Jalapa (Figura 3), se considera que el bajo déficit de acciones colectivas para la conservación y restauración de las microcuencas (Figura 2) está fuertemente asociado a la falta de gobernanza de múltiple nivel, y a procesos históricos como conflictos agrarios entre comunidades que comparten la misma microcuenca. En Tilcajete los valores de gobernanza de múltiple nivel, participación social y sanciones graduadas fueron bajos al igual que las acciones colectivas implementadas en sus áreas de recarga hídrica (Figura 3 y 2). Al incorporar la cobertura forestal de los casos estudiados, podemos hacer una asociación de la cobertura como parte del resultado de las acciones colectivas para la conservación y restauración de las áreas de recarga hídricas que cada comunidad ha implementado.





**Figura 2.** Porcentaje de eficiencia en la provisión del agua y de acciones de conservación y restauración de las áreas de recarga hídrica de la microcuencas de los casos estudiados. Las mayores diferencias se muestran en eficiencia económica, y en la mayoría de las variables de conservación y restauración.



**Figure 3.** Resultados de las variables del sistema de gobernanza para los casos estudiados (porcenajes). Las mayores diferencias se aprecian en la gobernanza de múltiple nivel entre Jalapa con el resto de los casos, en la rendición de cuentas y sanciones graduadas entre Cuilapam y Jalapa con el resto de los casos.

Jalapa y Minas presentaron la mayor cobertura forestal y la mayor implementación de dichas acciones colectivas. Sin embargo, hay que considerar que no explican en sus totalidad el estado de la cobertura forestal, que también puede estar sujeta a los procesos históricos que cada comunidad ha experimentado (Meffe et al., 2002), tales como conflictos de la tenencia de la tierra de las comunidades que comparten una misma microcuenca. En el caso de Cuilapam, por ejemplo, se evidencia una tendencia de baja cobertura del bosque, ya que comparte la parte alta de la microcuenca con la comunidad de San Pablo Cuatro Venados. Esta situación se exagera por conflictos agrarios que se mantienen entre dichas comunidades, los cuales se han documentado que pueden dificultar la negociación para la conservación del agua y de los bosques (Merino-Pérez, 2004); problemas que pueden ser similares a otras escalas como a nivel de cuenca. La tenencia de la tierra se ha considerado como una variable que determina la conservación o el deterioro de los recursos naturales como el bosque (Morales et al., 2010). En ese sentido, se puede apreciar una gran diferencia entre la baja cobertura forestal de la microcuenca del río Grande de Minas que es compartida con otra comunidad en la parte alta, con una mayor cobertura forestal de la microcuenca del río Chico de Minas que no es compartida (Tabla 2). En el caso de Jalapa la no compartición de la microcuenca, ha permitido la implementación de acciones de restauración y conservación de los bosques y del agua en su parte alta.

### Sistema de gobernanza y la eficiencia en el abasto de agua

Los CAs estudiados han logrado abastecer la demanda de agua en sus comunidades (92-100%), lo cual resulta contrario a lo reportado por instituciones nacionales para las comunidades rurales o semiurbanas (77% media nacional; Torregrosa, 2013). Estos porcentajes altos de provisión de agua a los hogares, son similares a los casos documentados en Costa Rica y Honduras (80-100%; Gumeta-Gómez et al., *en prensa*; Madrigal, et al., 2011). Llama la atención los datos de provisión reportados por INEGI en el censo de Población y Vivienda del 2010, que para los casos estudiados son inferiores a los reportados por esta investigación (39-85%; Tabla 3). Probablemente estas diferencias se deben a que el número de viviendas con agua entubada son contabilizadas de manera general para todo el municipio, el cual considera varias colonias y asentamientos de recién surgimiento que carecen de servicio de agua. Para el caso de este estudio, los datos corresponden a cuatro barrios con una antigüedad mayor a los 10 años (Barrio San Juan; Primera, segunda y tercer sección; Barrio San Sebastián y Barrio de Rancho Quemado), siendo más específicos. En todos los casos se muestra un alto porcentaje de satisfacción (>92%) con el manejo que han realizado los CAs en cada comunidad (Figura 2, superior), los cuales están por arriba de lo reportado por Madrigal et al. (2011), quien reporta porcentajes de satisfacción por arriba del 80% para casos de Costa Rica. Asimismo, los casos estudiados presentan fugas menores al 12%, los cuales están muy por debajo de la media nacional (44%; Torregrosa, 2013). Su eficiencia en la atención de fugas, se debe principalmente a que estas son reportadas a tiempo y atendidas rápidamente por la presión que los usuarios hacen contra los representantes del CAs.

**Tabla 5.** Comparación de los porcentajes de provisión del agua potable en las viviendas entre los datos obtenidos por esta investigación, los datos reportados por INEGI y la Media Nacional.

Caso	Cuilápam	Jalapa	Tilcajete	Minas
<b>Provisión de agua a viviendas</b>	95%	100%	93.6%	92.3%
<b>Provisión de agua a viviendas (INEGI, 2010)</b>	39%	85%	52%	71%
<b>Media Nacional (Torregrosa, 2013)</b>	77% rural			

De acuerdo a los actores de edad más avanzada o historiadores entrevistados, existen CAs (2 de Cuilapam) que han realizado el abasto del agua por más de cuatro décadas, estableciendo reglas de participación social, rendición de cuentas y sanciones para regular el uso del agua y promover acción colectiva para el abasto. Sin embargo, su existencia es desconocida por la ley, por la academia y por la mayoría de la sociedad, exceptuando a las sociedades que dependen de los CAs. La relación entre el sistema de gobernanza y la eficiencia en la provisión del agua resulta evidente en los casos documentados, principalmente en la eficiencia económica del sistema hidráulico. Mientras que para Jalapa, Cuilápam y Minas se presentaron altos porcentajes de eficiencia económica (>90%), para Tilcajete no se obtuvo el dato. Madrigal et al., (2011) para el caso de los regímenes de gobernanza del agua ciudadanos de Costa Rica, reporta que en los casos con mayor desempeño presentaron altos porcentajes de eficiencia económica (aproximadamente 70%), lo cuales comparados con los CAs estudiados son más bajos. Es decir, los CAs de Cuilapam, Jalapa y Minas están teniendo una buena eficiencia económica a pesar de sus limitantes como instituciones no reconocidas y sus faltas de capacitaciones en asuntos contables y administrativos. El hecho de no obtener datos de Tilcajete, es un indicativo de la falta de rendición de cuentas que se presentó en este caso, lo cual se debe a la inclusión del municipio en el manejo de los recursos económicos (cobra el servicio del agua a diferencia de los otros casos donde son los mismos ciudadanos quienes hacen esta tarea) y su falta de transparencia para con los usuarios del agua. González et al., (2012) reporta en un análisis de tres comunidades en la subcuenca del río Atoyac, en donde el agua para uso doméstico es gobernado y gestionado por los municipios, menores eficiencias

económicas <65%, siendo Ocotlán de Morelos (comunidad próxima a Tilcajete y Minas) el que menor porcentaje presento (30%). Lo cual podría explicar una baja percepción de rendición de cuentas del sistema de gobernanza de Tilcajete.

Las otras variables analizadas no parecen ser importantes en la acción colectiva para el abasto del agua pero pueden influir en su eficiencia. La participación social fue mayor en Cuilapam y Jalapa (>81%), lo cual está relacionado al establecimiento de reglas y sanciones económicas que se aplican en caso de faltar a asambleas, que en casos recurrentes pueden resultar en la suspensión total del agua. Caso contrario sucede en Tilcajete y Minas donde a pesar de que existen reglas y sanciones por no participar en las asambleas, estas no están escritas en un solo documento que las recopile, sino más bien se encuentran dispersas en varias actas de asambleas, además de que no existen monitoreos de su cumplimiento por represalias sociales. Madrigal et al., (2011) documenta casos de escasa participación de los usuarios y los relaciona con bajo desempeño de los sistemas de gobernanza del agua locales en Costa Rica denominados ASADAS (Asociación de Acueductos y Alcantarillados). Otro aspecto a destacar es la diferencia en la participación de la mujer en cargos de la junta directiva del CAs. Estas diferencias fueron entre Cuilapam y Jalapa con el resto de los casos (44% y 50%, respectivamente). Tilcajete fue el único caso donde no existe la participación de la mujer en ningún tipo de cargo en la comunidad, excepto para comités escolares. Se ha documentado en otros regímenes de gobernanza mediante Comités de Usuarios del Agua que la equidad de género resulta primordial para lograr la sustentabilidad del manejo del recurso hídrico, puesto que tiene un impacto positivo en el desempeño social (Propoky, 2005).

A manera de conclusión, a nivel global existen la tendencia de fortalecer estos sistemas tradicionales de gestión y gobernanza del agua que mediante participación han logrado que el abasto de agua sea más eficiente y justo, pero sobre todo porque tienen potencial para promover acción colectiva local de largo plazo para conservar y recuperar áreas de recarga hídrica; tales como los casos estudiados. A pesar de que son sistemas de gobernanza que nacen de los ciudadanos y que las entrevistas a usuarios de edad avanzada e historiadores locales marcan, en al menos dos CAs de Cuilapam, una antigüedad de más de cuatro décadas, son sistemas que presentan diferencias en las variables analizadas del sistema de gobernanza. Estas diferencias pueden estar asociadas principalmente al involucramiento o no de más actores, es decir de su gobernanza de múltiple nivel. El municipio, marca una diferencia principalmente en la variable de la eficiencia económica y en la rendición de cuentas, como se demostró en el caso de Tilcajete. Cabe destacar que ante un escenario donde no existen los CAs, y los municipio se hagan cargo de la gobernanza y gestión del agua en las casos estudiados; podrían repetirse los escenarios de bajo eficiencia en la provisión del agua y en las acciones de conservación y restauración de las áreas de recarga hídrica, los cuales se han reportado en otras comunidades de la subcuenca como Ocotlán de Morelos, Tlalixtác de Cabrera y Zimatlán de Álvarez (González et al. 2012) y en la ciudad de Oaxaca y área conurbana (INSO, 2014). Por lo que, el papel de los CAs es relevante para lograr el abasto del agua y la sustentabilidad del recurso hídrico, al menos a escala local. Ante los escenarios futuros del cambio climático que prevén mayor escasez de agua, los CAs podrían ser una alternativa porque ya realizan acciones de mitigación, al reforestar, hacer obras de retención de agua y suelos, y al cuidar la cobertura de la cuenca. Una limitante para dichas acciones es cuando la tenencia de la tierra de toda la microcuenca no es propiedad de los usuarios, ya que tienen que establecer otros mecanismos de coordinación con las comunidades con las que cohabitan. Este estudio demuestra la relevancia de las instituciones de gobernanza y gestión del agua ciudadana, que tienen el potencial de lograr esquemas de manejo del recurso sustentables, es decir, socialmente justo, económicamente viables y ecológicamente responsables, al igual que Ostrom (1990) argumenta para las instituciones de larga duración. Se recomienda que estos regímenes de gobernanza y gestión local del agua para uso doméstico, sean incorporados en la legislación de aguas nacionales, tal como ocurre con los sistemas de gobernanza ciudadanos en Costa Rica y Honduras (Gumeta-Gómez et al. *en prensa*) de tal manera que se prevean mecanismos de capacitación y de financiamiento que ayude a potenciar sus alcances en la subcuenca del río Atoyac, y en todo México. Consideramos que fortalecer los CAs y extender este modelo podría ayudar a cubrir la demanda y paulatinamente revertir la condición de subexplotación del acuífero de la Subcuenca del





**IV CONGRESO NACIONAL**

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

**2016**  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

río Atoyac.

## REFERENCIAS

- Arlington Institute. 2015. The World's Biggest Problems. En: <http://www.arlingtoninstitute.org> Fecha de consulta: 30 de agosto del 2015.
- Berkes, F. y Folke, C. 1998. Linking Social and Ecological Systems: Management practices and social mechanisms for building resilience. Cambridge University Press, U.K.
- Bernard, R. H. 2005. Research methods in anthropology: qualitative and quantitative approaches. 4th Edition. Altamira Press, Oxford, U.K.
- Castro, J. E., Kloster, K. y Torregrosa, M. L. 2004. Ciudadanía y gobernabilidad en México: el caso de la conflictividad y la participación social en torno a la gestión del agua. En: El Agua en México vista desde la Academia. Academia Mexicana de Ciencias, México, D.F. págs. 339-369.
- Chuvieco, E. 2002. Teledetección ambiental. Ariel Ciencia, Barcelona, España.
- CNUMP. 1977. Reporte de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, Mar del Plata. Mar de La Plata, ONU.
- Congalton, R. G. y Green, K. 1999. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Lewis Publisher, Boca Ratón.
- Durán, E., Bray, D., Velázquez, A. y Larrazábal, A. 2011. Multi-Scale Forest Governance, Deforestation, and Violence in Two Regions of Guerrero, Mexico. World Development, 39: 611-619.
- Durán, M. E., Rivera, G. R., Gumeta-Gómez, F., Camille, A. y Gordon, R. 2014. Mapping "virtuous" management of forest carbon stocks in five forestry communities in Oaxaca, Mexico. 2° Congreso Internacional de la Red de Medio Ambiente, Oaxaca, México.
- Gonzalez, V. F. J., Bensusan, N. R., Estrada, D. C. y Rocha, D. G. 2012. Diagnóstico de los servicios de agua y saneamiento en tres municipios representativos del estado de Oaxaca. XXII Congreso Nacional de Hidraulica, Acapulco, Guerrero.
- Gourbesville, P. 2008. Challenges for integrated water resources management. Physics and Chemistry of the Earth, 33: 284-289.
- Gumeta-Gómez, F., Durán, M. E. y Bray, D. B. En prensa. Multilevel governance for local management of drinking water in Latin America: Case studies of Costa Rica, Honduras and Mexico. Acta Universitaria. XX-XX
- Iglesias, A., Garrote, L., Flores, F. y Moneo, M. 2007. Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean. Water Resources Management, 21(5): 775-788.
- INEGI, 2010. Censo Poblacional y de Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D. F.
- INEGI, 2014. Mapa Digital de México v6. En: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/> Fecha de consulta: 20 de noviembre del 2014.
- INSO, 2014. Un plan común para un bien común. Hacia una estrategia articulada de esfuerzos en pro del agua en la cuenca del río Verde-Atoyac, Oaxaca. México. Instituto de la Naturaleza y Sociedad de Oaxaca, Fundación Gonzalo Río Aronte. Oaxaca, México.
- Lautzen, J., de Silva, S., Giordano, M. y Sanford, L. 2011. Putting the cart before the horse: Water governance and IWRM. Natural Resources Forum, 35: 1-8.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Ley de Aguas Nacionales. 2004. Diario Oficial de la Federación. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Mackay, F. 2004. El derecho de los pueblos indígenas al Consentimiento libre, previo e informado y la revisión de las industrias extractivas del Banco Mundial. Forest People Programmed. págs. 17.
- Madrigal, R., Alpízar, F. y Schlüter, A. 2011. Determinants of performance of community-based drinking water organizations. World Development. X:XXX-XXX
- Mas, J. F. y Ramirez, I. 1996. Comparison of land use classifications obtained by visual interpretation and digital processing. ITC Journal, 3: 278-283.
- McGinnis, M. D. y Ostrom, E. 2014. Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. Ecology and Society, 19(2):30.
- Meffe, G. K., Nielsen, L. A., Knight, R. L. y Schenborn, D. A. 2002. Ecosystem Management. Adaptive, Community-Based Conservation. Island Press, Washington, Covelo y London.
- Merino-Pérez, L. 2004. Conservación o Deterioro. El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en los usos de los bosques en México. Editorial del Deporte Mexicano. México, D. F.
- Minnaert, M. 1941. The reciprocity principle in lunar photometry. Astrophysics. J., 93: 403-410.
- Morales, M., Naughton-Treves, L. y Suárez, L. 2010. Seguridad en la tenencia de la tierra e incentivos para la conservación de bosques. ECOLEX. Quito, Ecuador.
- ONU, 2010. Resolución A/64/L.63/Rev.1. El derecho humano al agua y saneamiento. Organización de las Naciones Unidas. US.
- Ostrom, E. 1990. Governing the commons: the evolution of institution for collective action. 2da. Edición Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Propoky, L. S. 2005. The relationship between participation and project outcomes: Evidence from rural water supply projects in India. World Development, 33(11): 1801-1819.
- Puri, R. K. 2011. Participant observation. En: Conducting research in conservation: A social science perspective. Routledge, London and New York. Págs. 376.
- Torregrosa, M. L. 2013. El Agua en México. Conversus, 104.
- van Leeuwen, C. J. y Chandy, P. C. 2013. The city blueprint: experiences with the implementation of 24 indicators to assess the sustainability of the urban water cycle. Water Science & Technology: Water Supply, 13(1):769-781.
- Velázquez, A., Mas, J. F. y Díaz-Gallegos, J. R. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica INE-SEMARNAT, 62: 21-37.
- WWAP, 2006. Water a shared responsibility, Paris, France: The United Nations World Water Development Report 2. World Water Assessment Program. Paris, Francia.
- Zurbriggen, C., 2011. Gobernanza: una mirada desde América Latina. Perfiles Latinoamericanos, 38: 39-64.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 154. Humberto Macías Cuéllar, Mayra Mónica Hernández Moreno, Patricia Dolores Dávila Aranda, Leobardo Sánchez Paredes. MANEJO TERRITORIAL PARTICIPATIVO DE RECURSOS NATURALES EN UN EJIDO DE LA MIXTECA POBLANA.

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup>Laboratorio de Recursos Naturales UBIPRO, FES-Iztacala UNAM, email: [maciascuellar@unam.mx](mailto:maciascuellar@unam.mx)

<sup>b</sup>Laboratorio de Edafología UBIPRO, FES-Iztacala UNAM, email: [edafizta@unam.mx](mailto:edafizta@unam.mx)

<sup>c</sup>Laboratorio de Recursos Naturales UBIPRO, FES-Iztacala UNAM, email: [pdavilaa@unam.mx](mailto:pdavilaa@unam.mx)

<sup>d</sup>Es Tiempo de Siembra S.C., email: [lsanchezparedes@estimpodesiembra.org](mailto:lsanchezparedes@estimpodesiembra.org)

## RESUMEN

Desde el año 2010, en el Ejido de San Antonio Texcala, Municipio de Zapotitlán, Puebla, se lleva a cabo un proceso de autodiagnóstico y planeación participativa que inició en el marco del Programa de Silvicultura Comunitaria (PROCYMAF) de la CONAFOR, con la elaboración del Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC) en dicha localidad. Desde entonces, se ha desarrollado un ejercicio colectivo y multisectorial, basado en la Investigación-Acción-Participativa. Articulando de esta manera un plan-proceso que avanza de manera adaptativa, en el contexto del manejo integral de micro-cuencas, en una ruta hacia el manejo sustentable del territorio del núcleo agrario. Se ha definido ya, de manera participativa, un Plan de Acción Comunitaria (PAC) que contempla programas específicos de investigación-acción en las distintas categorías de uso definidas para el territorio por el OTC, este proceso ha sido avalado a la fecha por tres administraciones ejidales; logrando así la continuidad del mismo más allá del financiamiento gubernamental. La experiencia presentada ha contado con la participación de la Asamblea Ejidal, las autoridades agrarias y la comunidad en general, así como las ONGs, “Es tiempo de Siembra SC” y “Chakaan Buulaan AC”, desarrollando estudios y acciones específicas en los ámbitos de monitoreo ambiental comunitario, la evaluación de pérdida de suelo y fertilidad en parcelas agrícolas, la identificación de recursos forestales no maderables, la caracterización del sistema hidrográfico en distintas escalas y la recuperación del conocimiento local. Acciones articuladas en una perspectiva que contempla el manejo integrado del territorio teniendo como unidades de gestión las microcuencas hidrográficas y el polígono del núcleo agrario. Se presentan los resultados obtenidos por la experiencia citada durante los últimos 6 años.

**Palabras clave:** Investigación-Acción-Participativa, manejo comunitario, planificación participativa, manejo sustentable, recursos naturales, Mixteca poblana.

## 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente el deterioro ambiental, aunado a el deterioro social y económico del país, son los principales motivos por los que se espera que la ciencia aporte los conocimientos, los criterios, los modelos y los indicadores capaces de mejorar, o al menos estabilizar dicha situación a través del entendimiento e intervención en la dinámica sociedad-naturaleza.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Durante los últimos veinte años, diferentes grupos académicos han estado involucrados en el estudio de los procesos ecológicos, sociales, y económicos relacionados con el deterioro del ambiente (UNAM, 2008). En México, han sido múltiples los acercamientos conceptuales y metodológicos que abordan la problemática de las formas del desarrollo socio-ambiental y el uso y la conservación de los recursos naturales (Toledo *et al.*, 1999; Toledo y Castillo 1999; Leff, 2004; Toledo, 2006; Maass, 2008). Así mismo, muchos trabajos han hecho notar que el deterioro ambiental (social y biofísico), y la pérdida del capital social y natural que esto conlleva, están ligados a modelos de desarrollo que surgen exclusivamente desde una visión externa marcadamente "cientificista" y ajena a los sujetos históricos participantes en dichos procesos. Tales modelos son por tanto, incapaces de incorporar las necesidades colectivas expresadas en las comunidades humanas y la percepción del ambiente, las problemáticas y las alternativas de solución desarrolladas desde las estructuras y dinámicas locales (Leff, 2004; Sotolongo y Delgado, 2006; Rodríguez-Villasante, 2010).

En el año 2005 se dio inicio en la UNAM a un ambicioso proyecto de colaboración, denominado Macroproyecto Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano (MMEDH), en el que participaron cuatro entidades de esta institución en un esfuerzo interdisciplinario que pretendía capitalizar las experiencias de sus investigadores, mediante un modelo de trabajo común en cuatro regiones del país, teniendo como unidad biofísica de referencia la cuenca hidrográfica (Mass y Cotler, 2007; UNAM, 2008; Dávila *et al.*, 2014). Considerando en todos los casos: a) La complejidad en la dinámica de los sistemas sociales y ecológicos, b) las decisiones colectivas en la transformación de las reglas de interacción social dirigidas a la cooperación para el manejo de los ecosistemas, y c) la contribución de las ciencias sociales y naturales y de la planeación comunicativa e interdisciplinaria, para desarrollar y poner en marcha las estrategias de manejo de los ecosistemas (UNAM, 2008).

En el MMEDH se plantearon preguntas fundamentales y se marcó como objetivo general el construir, a través del trabajo de investigación participativa e interdisciplinaria, una red de investigación universitaria enfocada al manejo sustentable de los ecosistemas, en el que se generaron avances importantes en sus cuatro regiones de (UNAM 2008, Dávila *et al.*, 2014). Sin embargo, el objetivo General que articulaba a las cuatro regiones quedó truncado cuando en 2009 se detiene el financiamiento por parte de la UNAM, al proyecto mencionado.

No obstante lo anterior, muchos de los participantes mantuvieron el compromiso de trabajo en el marco construido, continuando por rutas independientes, pero conservando como punto de referencia común los elementos que constituyen el manejo de ecosistemas (UNAM, 2008). Recuadro 1.



**Recuadro 1.** Los elementos que incluye el manejo de ecosistemas (Christensen *et al.* 1996, UNAM 2008, Maass 2008):

- 1) La sustentabilidad inter-generacional es una condición previa.
- 2) Los seres humanos son componentes del ecosistema.
- 3) Establece metas cuantificables que especifican los futuros procesos y resultados necesarios para la sustentabilidad.
- 4) Se basa en el análisis integrado de la investigación realizada en todos los niveles de organización ecológica.
- 5) Reconoce que la diversidad biológica y la complejidad estructural fortalecen a los ecosistemas ante las per-

turbaciones y suministran los recursos genéticos necesarios para adaptarse a los cambios a largo plazo.

- 6) Reconoce que el cambio y la evolución son inherentes a la sustentabilidad de los ecosistemas.
- 7) Reconoce que los procesos de los ecosistemas operan en un amplio rango de escalas espaciales y temporales, y su comportamiento se ve afectado por su contexto.
- 8) Reconoce que el conocimiento y los paradigmas de la función del ecosistema actual son provisionales, incompletos y sujetos a cambios. Los enfoques del manejo deben ser considerados como hipótesis para ser probadas en programas de investigación y seguimiento.

Recuadro 1. Elementos que contempla el manejo de Ecosistemas (tomado de Dávila *et al.*, 2014).

Bajo este contexto, desde el año 2009, se lleva a cabo un proceso de autodiagnóstico y planeación participativa en una de las cuencas del MMEDH, en el Ejido de San Antonio Texcala, Municipio de Zapotitlán, Puebla, que inició en el marco del Programa de Silvicultura Comunitaria (PROCYMAF) de la CONAFOR, con la elaboración del Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC) en dicha localidad. Desde entonces, se ha desarrollado un ejercicio colectivo y multisectorial, basado en la Investigación-Acción-Participativa. Articulando de esta manera un plan-proceso que avanza de manera adaptativa, en el contexto del manejo integral de microcuencas, en una ruta hacia el manejo sustentable del territorio del núcleo agrario.

El presente trabajo documenta una parte de la experiencia desarrollada, entre los años 2009 y 2016, por un grupo de académicos de la UNAM y otros actores sociales, en el núcleo agrario antes referido. El objetivo en esta región ha sido construir, sobre la plataforma de la Investigación-Acción Participativa, y en combinación con los enfoques multi, inter y transdisciplinarios, una red de experiencias a nivel de los núcleos agrarios que se constituyan en una estructura de elaboración de conocimiento y acciones, en el marco de una estrategia territorial que contempla el ordenamiento, el aprovechamiento, la conservación y la restauración como elementos del manejo sustentable de los ecosistemas locales.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El ejido de San Antonio Texcala se encuentra a 9 km al sur de la Ciudad de Tehuacán, Puebla, entre los 18°26'28.0968" – 18°21'52.5708" latitud norte y los 97°25'42.2544" – 97°29'51.8676" longitud oeste, con una variación altitudinal que va de los 1550 a los 2350 msnm (Macías-Cuéllar *et al.*, 2010). Pertenecer a 2 municipios. La parte norte se encuentra dentro del municipio de Tehuacán y la parte sur forma parte del municipio de Zapotitlán Salinas (Figura 1.). El clima predominante en la zona es seco con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 400 a 500 mm. Presenta un relieve montañoso debido a que pertenece a dos regiones morfológicas, la porción noreste es parte del Valle de Tehuacán y el resto se distribuye en la Provincia de la Sierra de Zapotitlán, ubicada al suroeste del Valle de Tehuacán. Geológicamente, se sitúa como el punto de afloramiento de la formación de Zapotitlán,





misma que sigue hasta la Sierra de Santa Rosa y que se encuentra constituida por una secuencia de lutitas calcáreas con micas, de color gris y con estratificación delgada; además, tiene intercalaciones de caliza, arenisca y marga y, ocasionalmente de conglomerado, se le calcula una edad del Cretácico Temprano. Presenta 3 tipos de suelo dominantes: Leptosoles, Phaeozem y Calcisoles. En el territorio podemos encontrar algunas asociaciones vegetales reportadas para el Valle de Tehuacán (Valiente-Banuet *et al.*, 2009), entre ellas el Cardonal de *Cephalocereus columna-trajani*, Palmar de *Brahea dulcis* y Candelillar de *Euphorbia antisiphilitica* en la zona suroeste del ejido; Izotal de *Yucca periculosa* y Matorral de *Echinocactus platyacanthus* en la zona oeste; y, Matorral de *Echinocactus platyacanthus* y Cardonal de *Mitrocereus fulviceps* en la zona noroeste y norte.



Figura 1. Zona de Trabajo

El marco metodológico de la experiencia desarrollada hasta ahora, se concibe como parte de un esquema modular para la formación de una red de proyectos comunitarios, locales y regionales (Figura 2). Este esquema modular y multiescalar ha permitido iniciar el proyecto en varios sitios de manera independiente e ir escalando hacia otros, paulatinamente. La organización y el trabajo de investigación de cada proyecto comunitario (nodo de la red) ha sido establecido de acuerdo con las condiciones particulares de cada sitio y en función de las necesidades e intereses de las comunidades participantes. Por tal razón, es importante entender que la red que se está construyendo no representa la suma de proyectos comunitarios similares o equivalentes que se establecen para ser “replicados” en diferentes regiones, sino un mosaico heterogéneo de grupos de trabajo en donde cada uno tiene su propia lógica de organización, estructura y funcionamiento (Figura 3) (Dávila *et al.*, 2014).

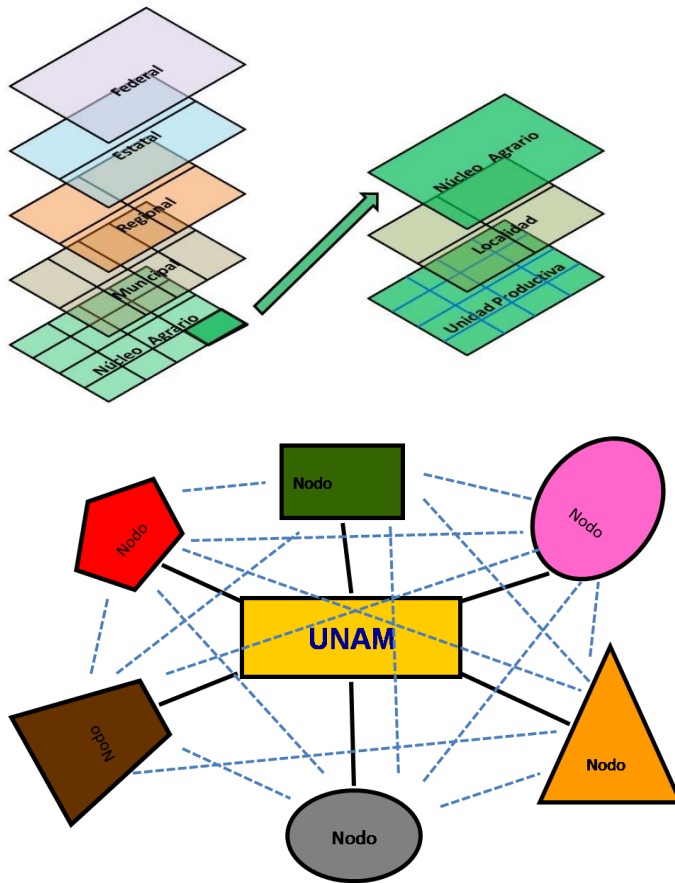


Figura 2. Los distintos niveles de resolución en los que operan simultáneamente muchos de los procesos estudiados.

Figura 3. Arquitectura del modelo de red que propone el proyecto..

### Investigación-Acción Participativa

La Investigación Acción Participativa, es una propuesta teórico-metodológica que se fundamenta en el desarrollo de un proceso que garantice la participación amplia de las personas de todos los sectores de un territorio en los aspectos cognitivos, las rutas y los procedimientos lógicos de un proceso de planificación estratégica situacional participativa (Fals-Borda, 1980; Ander-Egg, 1990; Rodríguez-Villasante, 2002; Albertch et al., 2009).

Teniendo como base un proceso “práxico” que se plantea en el ámbito del “aprender al hacer”, y en la valoración del conocimiento que se construye con la acción colectiva, la metodología pretende fortalecer e incrementar las capacidades locales y regionales mediante un proceso de “acción-reflexión-acción” que parte de la identificación y construcción de soluciones a la problemática de las comunidades “desde dentro”, caracterizadas estas soluciones por mecanismos que garantizan el respeto a las opiniones, la cooperación y la responsabilidad compartida. Teniendo como fin la realización del trabajo en beneficio de la colectividad, articulando los intereses planteados en los distintos ámbitos y escalas de intervención de un territorio específico.

Esquemáticamente el proceso metodológico llevado a cabo se resume, de manera general, en los siguientes pasos:

Etapas de pre-investigación: Síntomas, demanda y elaboración del proyecto.

- Detección de síntomas identificación de demandas de intervención.
- Planteamiento de la investigación (negociación y delimitación de la demanda, elaboración del proyecto).

Etapas de Diagnóstico.

- Conocimiento contextual del territorio y acercamiento a la problemática a partir de la documentación existente y de entrevistas a representantes.
- Recolección de información.
- Constitución de la Comisión de Seguimiento.
- Constitución del Grupo de IAP.
- Introducción de elementos analizadores.
- Trabajo de campo (entrevistas individuales a representantes institucionales y asociativos).
- Realización de talleres.

Etapas de Programación.

- Proceso de apertura a todos los conocimientos y puntos de vista existentes, utilizando métodos cuantitativos, cualitativos y participativos.
- Trabajo de campo (entrevistas grupales a la base social).
- Análisis de textos y discursos.
- Generación y discusión de resultados preliminares.
- Realización de talleres.

Conclusiones y propuestas.

- Negociación y elaboración de propuestas concretas.
- Construcción Programas de Acción Integral (PAI).

En este marco se han construido las propuestas de trabajo sometiendo en última instancia a la Asamblea Ejidal la puesta en marcha de cada proyecto.

## SUELOS.

Se llevó a cabo un levantamiento edafológico semidetallado del ejido, de acuerdo con la metodología de Ortiz-Solorio y Cuanalo de la Cerda (1981). El sistema de clasificación del suelo empleado fue la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS, 2007). Los análisis de calidad y fertilidad de los suelos agrícolas se realizaron de acuerdo con Cantú *et al.* (2007) y Crespo *et al.* (2006), considerando el tiempo de uso y tipo de manejo del suelo y tomando como referente los sitios con cobertura vegetal original. Además se realizó una evaluación de la pérdida del suelo mediante el establecimiento de parcelas de clavos de erosión (Kumar, 2013) en las laderas de dos barrancas del ejido, en sitios con cobertura vegetal densa ( $> 60\%$ ) y escasa ( $< 30\%$ ), realizado mediciones periódicas durante un año. Se midieron otros indicadores de degradación del suelo como la compactación y se tomaron muestras para evaluar su condición mediante la medición de parámetros físicos y químicos. Además, se identificaron sitios donde se medirán otros indicadores de pérdida de suelo como roca y raíces expuestas y pedestales (Stocking y Murnaghan, 2003; INEGI, 2014). Adicionalmente, y como parte del monitoreo, se realizó la medición de los sedimentos acumulados en las muros de piedra acomodada y gaviones que se construyeron como prácticas de conservación de suelos, en el marco de los Programas de Compensación y Servicios Ambientales por parte de la CONAFOR entre 2011 y 2013. Con esto se implementó un sistema de monitoreo de pérdida del suelo, que permitirá dar seguimiento a las obras de conservación. Pretendemos que se constituya una comité comunitario conformado por miembros del ejido, que le den seguimiento al programa; con la finalidad de tener información que permita dirigir los esfuerzos al mantenimiento de las obras en la zona.

Para llevar a cabo los estudios de evaluación de Recursos Forestales No Maderables (RFNM) se tomó como base la propuesta de FAO (2001), llevada a cabo en el marco del proceso de IAP.

### 3 RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos por la experiencia citada durante los últimos 6 años. Tiempo durante el que se han llevado a cabo acciones articuladas en una perspectiva que contempla el manejo integrado del territorio, teniendo como unidades de gestión las microcuencas hidrográficas y el polígono del núcleo agrario.

Se ha definido ya, de manera participativa, un Plan de Acción Comunitaria (PAC) que contempla programas específicos de investigación-acción en las distintas categorías de uso definidas para el territorio por el OTC, este proceso ha sido avalado a la fecha por tres administraciones ejidales; logrando así la continuidad del mismo, más allá del financiamiento gubernamental. La experiencia presentada ha contado con la participación de la Asamblea Ejidal, las autoridades agrarias y la comunidad en general, así como las ONGs, “Es tiempo de Siembra SC” y “Chakaan Buulaan AC” desarrollando estudios y acciones específicas en los ámbitos de monitoreo ambiental comunitario, la evaluación de pérdida de suelo y fertilidad en parcelas agrícolas, la identificación de recursos forestales no maderables, la caracterización del sistema hidrográfico en distintas escalas y la recuperación del conocimiento local.

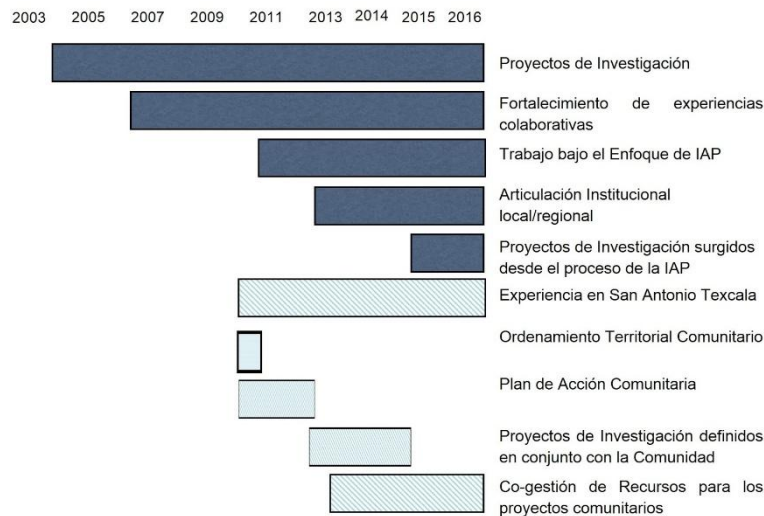


Figura 4. Línea de tiempo del proceso desarrollado en la región, desde la fase previa al MPMEDH, hasta la etapa descrita en este documento.

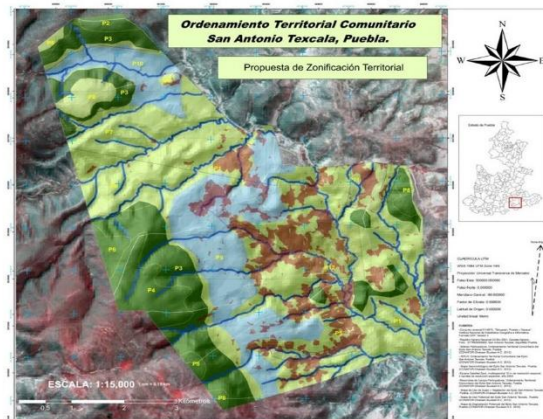
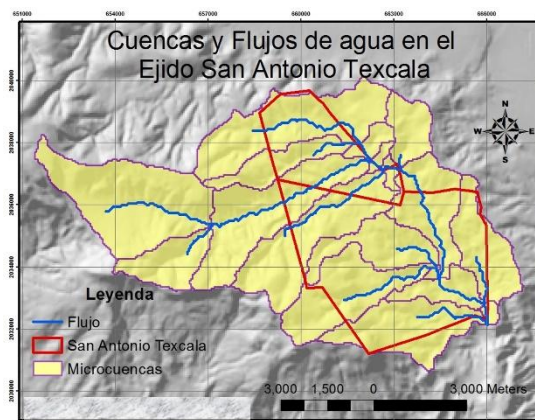


Figura 6. Microcuencas en el territorio del Ejido.

Figura 6. Ordenamiento Territorial Comunitario de San Antonio Texcala.



## Suelos

Como elemento fundamental se realizó el levantamiento edafológico semidetallado, encontrándose que los grupos de suelo dominantes son los Phaeozem en asociación con Calcisoles, que se distribuyen del centro y hasta el norte del ejido sobre planicies inclinadas. Y los Leptosoles que se encuentran del centro al sur, hacia el poniente y oriente de la zona, en laderas inclinadas. Son suelos poco profundos, propios de zonas semiáridas, con características distintivas como la presencia de un horizonte muy rico en carbonatos (petrocálcio), o con alto contenido de materia orgánica y una saturación de bases mayor al 50% (mólico). Lo que les da el calificativo de calcáricos y réndzicos. Las principales problemáticas identificadas son la falta de capacidad de retención de agua, la erosión y la inclinación de la pendiente.

En cuanto a la calidad y fertilidad de los suelos agrícolas se encontró que aquellos con cobertura vegetal original (50 años sin uso), son los más fértiles y con calidad muy alta, lo que representan que su funcionamiento es el más adecuado; por lo que los servicios de soporte, regulación y provisión que ofrecen al ecosistema se han mantenido a lo largo del tiempo. A partir de los 10 años de descanso, se hace evidente la recuperación de las propiedades y por lo tanto, del funcionamiento del suelo, pues se encontró que las parcelas con uso actual son de calidad de media ( $ICs = 0.40 - 0.59$ ) a baja ( $ICs = 0.20 - 0.39$ ), con porcentajes de fertilidad del 52 al 68%; siendo aquellas que presentan un uso múltiple (cultivo de maíz, frijol y calabaza en un solo ciclo, con agave pulquero), las que presentan valores más altos en ambos índices. Por lo que, los servicios ecosistémicos que se han visto afectados son, los de provisión. En cuanto a las principales limitantes que se identificaron se encuentran la alta pedregosidad, y la escasez de agua. Por lo anterior, se sugiere mantener y promover el uso múltiple de los terrenos, la aplicación de materia orgánica y la implementación de sistemas agroforestales, como estrategias que mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, favorecen la retención del agua y por lo tanto, su calidad y fertilidad.

Una de las contribuciones importantes de este proyecto es la generación de fichas técnicas (Figura 8) con el diagnóstico de calidad y fertilidad del suelo de cada parcela que se le entregó a cada productor. Cada ficha contiene información general, datos ambientales, mapa de ubicación de la parcela, datos físicos y químicos del suelo, valoración de los indicadores de calidad y fertilidad, diagnóstico y un par de fotografías del momento del muestreo.



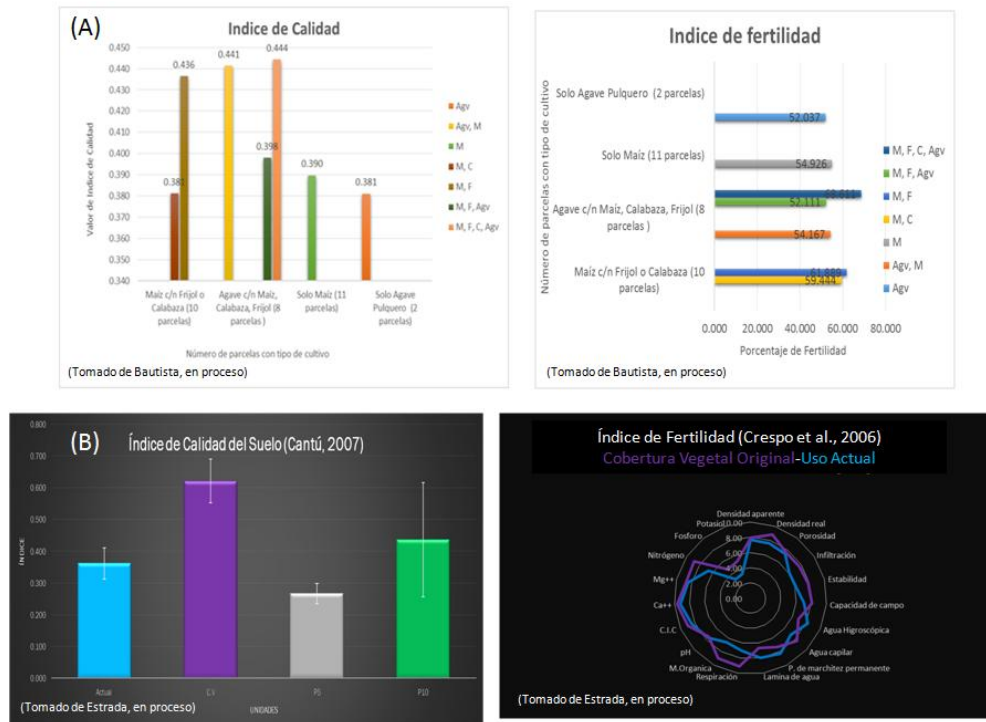


Figura 7. (A) Índice de Calidad del Suelo (Cantú *et al.*, 2007), de las parcelas de La Mesa y Llano Grande en San Antonio Texcala, Puebla (Agv = Maguey pulquero, M = Maíz, C = Calabaza, F=Frijol, (B) Índice de Calidad del Suelo (Cantú *et al.*, 2007), de las parcelas El Rincón en San Antonio Texcala, Puebla (CV = Cobertura Vegetal Original, PA = Parcela con uso actual, P5 = Parcela con 5 años de descanso, P10 = Parcela con 10 años de descanso).

Respecto al análisis de pérdida de suelo encontramos que el suelo protegido por cobertura vegetal densa presenta mejores condiciones, en comparación con los suelos donde la cobertura vegetal es menor, pues los niveles de compactación son menores en la primera condición, respecto a la segunda y el porcentaje de materia orgánica del suelo es mayor en la vegetación densa que en la escasa. Se pudo identificar una tendencia de mayor pérdida de suelo en los cuadrantes de vegetación escasa que en los de vegetación densa, en ambas barrancas (Figura 9). Los gaviones sólo pueden retener el suelo por un período de 2 años, una vez que son rebasados por los sedimentos, dejan de tener un funcionamiento adecuado de retención de sedimentos, por lo que se recomienda incorporar dentro del programa de monitoreo, actividades de remoción del sedimento y aprovechamiento del mismo.

Bajo el esquema planteado en el OTC y el PAC de San Antonio Texcala, los programas abordadas fueron el de Uso Tradicional, Manejo Integral de Manantiales y Barrancas, Recuperación, Restauración y Conservación, Conservación y Uso Regulado, Uso y Manejo Forestal Sustentable, con la puesta en marcha de manera participativa de diversos proyectos que abordan las líneas estratégicas de dichos programas.

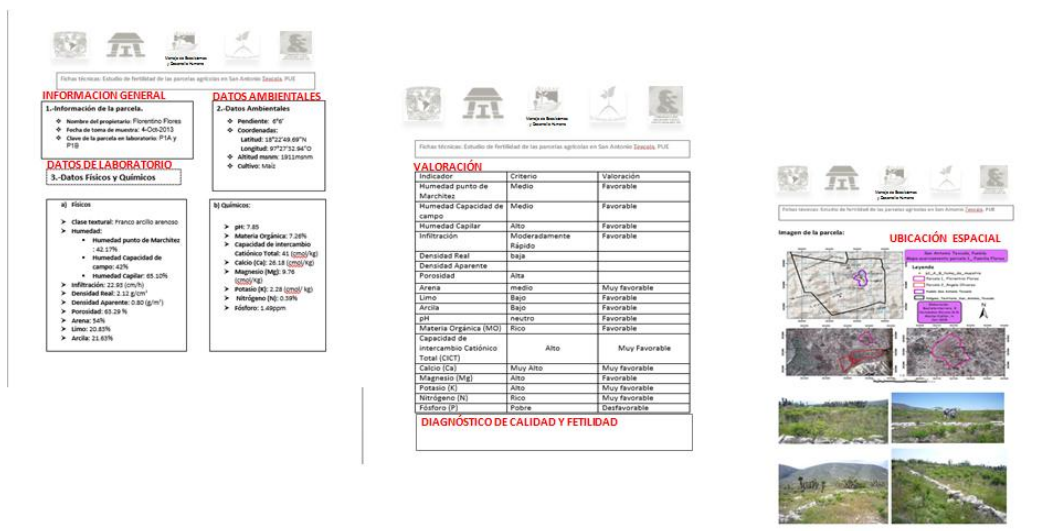


Figura 8. Ficha técnica con la información sobre la calidad y fertilidad de los suelos agrícolas, entregados a cada productor.

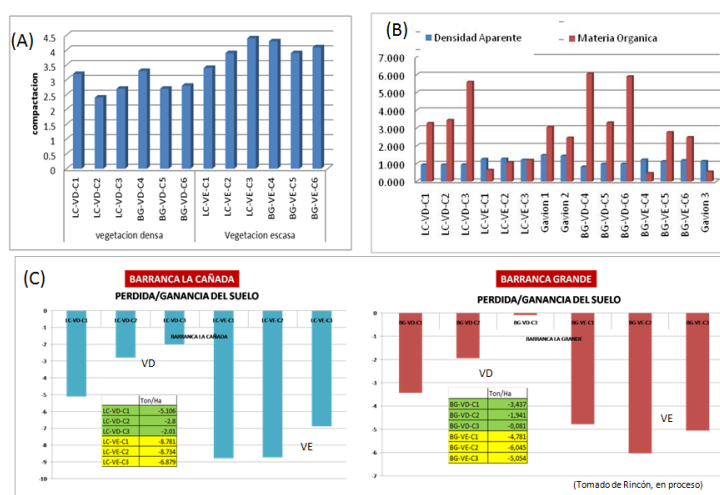


Figura 9. (A) Nivel de compactación del suelo (kgf/cm²), (B) densidad aparente (g/cm³) y contenido de materia orgánica del suelo (%) de las laderas de las barrancas Grande y La Cañada, por grado de cobertura vegetal. (C) Pérdida de suelo (ton/ha) en las laderas de las barrancas (LC= Barranca La Cañada, BG= Barranca Grande, VD= Vegetación Densa, VE= Vegetación Escas, C= Cuadrantes).

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al incorporar los elementos sociales y económicos al manejo de ecosistemas se crea la necesidad de analizar, organizar e interpretar datos que escapan por completo del ámbito disciplinario de las ciencias naturales. La incorporación del marco teórico-metodológico de la investigación acción participativa en este trabajo no es solo una herramienta para el análisis de estos datos sociales sino es también la vía para tomar las decisiones respecto a las necesidades de la población directamente involucrada en el manejo del recurso.

En general, las iniciativas gubernamentales de intervención para el desarrollo se encuentran focalizadas en la pretensión de incorporar al mercado global la actividad campesina, incidiendo fuertemente en procesos de

formación de grupos de “emprendedores” bajo una perspectiva de “éxito empresarial”. Esto ha generado en la mayoría de los casos procesos de ruptura comunitaria (ganadores-perdedores) (Dávila *et al*, 2014). Por otro lado, es común una visión descontextualizada de la mayoría de los actores académicos presentes en el territorio, quienes intervienen en la dinámica local, aún sin pretenderlo, en la mayoría de los casos con pocos elementos de entendimiento de la misma más allá del ámbito particular de su interés, generando en ocasiones circunstancias de conflicto que en la mayoría de las veces trascienden su presencia en la región.

En este escenario las personas de las comunidades agrarias han desarrollado, a su vez, estrategias oportunistas de tipo individual o familiar, para sacar provecho de esta circunstancia, por ejemplo buscando “acaparar” el contacto con cualquier actor externo que pueda representar la llegada de beneficios, y estableciendo mecanismos de interlocución con dichos actores que logren que la información sólo sea accesible a sus redes de amistad (Chakaan Buulaan, 2010a, 2010b), lo que en la mayoría de los casos representa un obstáculo para la construcción colectiva de procesos de colaboración que lleven al manejo sustentable de ecosistemas. La vinculación entre la investigación y la acción participativa con sus territorios socio-ambientales se desarrolla como un intento práctico para resolver problemas concretos, en donde la relación es de sujetos con sujetos, construyendo desde diferentes posiciones una investigación y una acción comunes, ya que no todos aportan lo mismo al proceso, ni cuantitativa ni cualitativamente. Es por ello que en el marco de este proyecto, ha sido y es imprescindible tanto la visión del especialista científico, como la del metodólogo, como la del dirigente social, como la de cualquier persona que quiera aportar sus saberes, pues es la dialéctica de esta relación la que enriquece el proceso (Rodríguez-Villasante 2006).

Por otro lado tenemos que aceptar que el estudio de la sustentabilidad en el manejo de socio-ecosistemas requiere reconocer que se están abordando procesos que operan de manera anidada y simultánea en escalas y ámbitos diversos. Se ha planteado que para abordar un fenómeno reconociendo su complejidad, es necesario construir un marco teórico y metodológico del fenómeno específico (Max-Neef 2005) en el que se reconozcan las concepciones disciplinarias y se entienda que su explicación está más allá de estas, es decir, es necesario construir recurriendo a recursos hermenéuticos y heurísticos, más que a marcos explicativos rígidos y estandarizados.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo reconocemos y agradecemos a las autoridades ejidales y a los habitantes de San Antonio Texcala, por la colaboración y participación en el desarrollo del proyecto. A la Dirección de la Reserva de Biósfera de Tehuacán Cuicatlán, a la CONAFOR-Puebla, al H. Ayuntamiento de Zapotitlán Salinas, Puebla. Al Proyecto DGAPA-UNAM-PAPIIT-IN219914. Y a todos los estudiantes de la carrera de Biología de la FES Iztacala-UNAM, que colaboraron para el buen desarrollo del proyecto.

## 6. LITERATURA CITADA

- Alberich, T., Arnanz, L., Basagoiti, M., Belmonte, R., Bru, P., Espinar, C., García, N., Habegger, S., Heras, P., Hernández, D., Lorenzana, C., Martín, P., Montañés, M., Villasante, R. T., Tenze, A. 2009. “Metodologías participativas. Manual”. Observatorio Internacional de Ciudadanía y Medio Ambiente Sostenibles (CIMAS), Madrid, 91 p.
- Ander-Egg, E. 1990. “Repensando la Investigación-Acción-Participativa, comentarios, críticas y sugerencias. Editorial el Ateneo. México D.F. 86 p
- Cantú; M.P., Beckera, C.B.J., y Schiavo, H.F. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *CI. Suelo*. 25:173-178.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Crespo, G., Rodríguez, I., Otero, L., Calero, B. y Fraga, S. 2006. Metodología para la evaluación integral del estado de fertilidad de los suelos en una región ganadera de La Habana. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 40:495-502.
- Dávila, P., Macías-Cuéllar, H., De la Puente, M.C.M., Hernández-Moreno, M.M., Sánchez, P. L., Pickering, L. J.M. y Benítez, M.E. 2014. Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano: Construcción de una red de proyectos comunitarios para el manejo regional sustentable de ecosistemas en México. *Investigación Ambiental*. 6:139-150. En: [https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjhiuqF2PHOAWEpx4KHbX9BIEQFggBMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.revista.inecc.gob.mx%2Farticle%2Fdownload%2F238%2F269&usg=AFQjCNF6QpRT4UdtFB\\_10BHtPiymMp2sQ&sig2=zDGE-J5NS73bJMYCcntHQw](https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjhiuqF2PHOAWEpx4KHbX9BIEQFggBMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.revista.inecc.gob.mx%2Farticle%2Fdownload%2F238%2F269&usg=AFQjCNF6QpRT4UdtFB_10BHtPiymMp2sQ&sig2=zDGE-J5NS73bJMYCcntHQw) Fecha de Consulta: 20 de julio de 2016.
- Fals-Borda, O. 1980. La ciencia y el pueblo En: Investigación Participativa y Praxis Rural. Nuevos conceptos en educación y desarrollo comunal. Mosca Azul Ediciones. Lima.
- FAO. 2001. Evaluación de los recursos de productos forestales no madereros. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-y1457s.pdf> (verificado 27 de agosto 2015).
- IUSS, Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Kumar G. S., Higaki, D., y Prasad, B.T.. 2013. Estimation of soil erosion rates and eroded sediment in a degraded catchment of the Siwalik Hills, Nepal. *Land*. 2:370-391
- Leff, E. 2004. Racionalidad ambiental y diálogo de saberes: significancia y sentido en la construcción de un futuro sustentable. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*. 2:1-28. En: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30500705>.
- Fecha de consulta: 10 de febrero de 2013.
- Maass, J.M. 2008. La investigación de procesos ecológicos y el manejo integrado de cuencas hidrográficas: Un análisis del problema de escala. En: Cotler, H. (Comp.) *El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. SEMARNAT-INE. México. págs. 41-58.
- Maass J.M. y Cotler H. 2007. El protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. En: Cotler, H. (Comp.) *El manejo integral de cuencas en México*. México. Instituto Nacional de Ecología, segunda edición, 347 pp.
- Maass, M., Jardel, E.J., Castillo, A., García B. R., Porter, L., Sosa R. J., Burgos, A. 2008. Manejo de socioecosistemas e investigación a largo plazo. *Ciencia y Desarrollo*. 34:30-37.
- Macías-Cuéllar, H., De la Puente, M.C.M., Hernández-Moreno, M., López, R. R., y Sánchez, P.L. 2010. *Estudio para el Ordenamiento Territorial Comunitario del Ejido San Antonio Texcala, Puebla. Zapotitlán, Puebla*. CONAFOR-Chakaan Buulaan A.C. México.
- Ortiz-Solorio, C. y Cuanalo de la Cerda, H. 1981. *Introducción a los levantamientos de suelos*. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pág. 13.
- Parra, D. y De la Puente, M. 2011. Organizaciones, acción colectiva y participación comunitaria. En: F. Martínez-Carrasco P. y M. Ibarra (comps.). *La Mixteca poblana. De la vulnerabilidad al bienestar*. Universidad de Murcia / Universidad Iberoamericana de Puebla. 103-128 pp.
- Rodríguez-Villasante T. 2002. Sujetos en movimiento. Redes y procesos creativos en la complejidad social. CIMAS-Nordan. Montevideo.
- Rodríguez-Villasante, T. 2010. Reflexividades socio-práxicas: esquemas metodológicos participativos. Observatorio Internacional de Ciudadanía y Medio Ambiente Sostenibles (CIMAS), Cuadernos.
- En:[http://www.redcim.as.org/wordpress/wp-content/uploads/2012/08/m\\_TVillasante\\_REFLEX.pdf](http://www.redcim.as.org/wordpress/wp-content/uploads/2012/08/m_TVillasante_REFLEX.pdf)
- Fecha de consulta: 10 de febrero de 2013.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Sotolongo, C.P.L. y Delgado, D.C.J. 2006. La revolución contemporánea del saber y la complejidad social. Hacia unas ciencias sociales de nuevo tipo. CLACSO/Agencia Sueca de Desarrollo Internacional. Buenos Aires. 247 pp. En: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/ar/libros/campus/soto/sotolongo.pdf>
- Fecha de consulta 1 de marzo de 2013.
- Stocking, M. y Murnaghan, N. 2003. *Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra*. Ediciones Mundi-Prensa. España. pág. 49-52.
- Toledo V., Alarcón P. y Barón, L. 1999. Estudiar lo rural desde una perspectiva interdisciplinaria: Una aproximación al caso de México. *Estudios Agrarios*. 12: 55-90.
- Toledo, V. y Castillo, A. 1999. La ecología en Latinoamérica: siete tesis para una ciencia pertinente en una región en crisis. *Interciencia*. 24:157-168.
- Toledo, V.M. 2006. Ecología sustentabilidad y manejo de recursos naturales: La investigación científica a debate. En: K. Oyama y A. Castillo (Coordinadores). *Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México: perspectivas desde la investigación científica*. UNAM / Siglo XXI Editores, México D.F. 27-42 pp.
- UNAM. 2008. Macroproyecto Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano. Informe 2005-2008. *SDEI-PTID-02*. En: <http://www.iztacala.unam.mx/mmrg/mega/> Fecha de consulta: 1 de febrero de 2013.
- Valiente-Banuet, A., Solis, L., Dávila, P., Arizmendi, M.C., Silva, P.C., Ortega-Ramírez, J., Treviño, C.J., Rangel-Landa, S. y Casas, A., 2009. *Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. UNAM, CONABIO, INAH, UAT Fundación para la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México





IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 120. Carlos Robles Guadarrama y Alejandra Pacheco Mamone. SUBCOMITÉ DE CUENCA EN SANTA MARTA: UNA EXPERIENCIA DE GESTIÓN COMUNITARIA.

[Regresar al índice](#)

Desarrollo Comunitario de los Tuxtlas A.C. (DECOTUX)

\*carroble59@yahoo.com.mx y \*\*amne011@gmail.com

## Resumen

Se reflexiona conceptualmente sobre un proceso de organización de indígenas -popolucas y nahuas- y mestizos en la sierra de Santa Marta para la gestión social y territorial orientada al mejoramiento ambiental y que planteó la problemática de tomar acuerdos en puntos y temas específicos. Actualmente en la organización, que inició en cuatro comunidades, participan grupos de 35 ejidos conformando un espacio multicultural de planeación: el Subcomité de Cuenca del río Huazuntlán. En él, los participantes expresan su ubicación en las relaciones de poder, sus preocupaciones, su percepción sobre el deterioro y sus propuestas. Se ha generado un plan de acción territorialmente centrado en la recuperación de vegetación ribereña y los nacimientos de agua, y socialmente orientado a reivindicar el valor del trabajo necesario en la recuperación ambiental. Esto ha dado una perspectiva de manejo de cuenca a las acciones, incorporando seis mil hectáreas al plan de restauración y conservación. Las reglas de participación, definidas por ellos, permiten encontrar un intento de *communitas* (Esposito R., 2012) basado en obligaciones y responsabilidades, así como en compromisos de transparencia y horizontalidad en la toma de decisiones. El equipo asesor encontró dos tipos de dificultades, una de carácter técnico -¿Qué proponer para mejorar ambientalmente un territorio intensamente usado como medio de vida?- y otra sociocultural -¿Cómo facilitar procesos de organización intra e intercomunitaria en grupos cuyos miembros experimentan tensión, desconfianza, competitividad y violencia?-. En este documento reflexionamos sobre esta última pregunta. Nos concentramos en las nociones de comunidad y de lugar de veridicción. Recordamos nociones básicas de comunidad, y recuperamos la idea de Esposito (2012) que relaciona comunidad con deuda, más que con un atributo común que une a sus miembros. Retomamos el concepto foucaultiano de poder para explicar las formas en que estos grupos se vinculan con la totalidad de la sociedad, y la idea de sujeto de la enunciación, vinculada a la idea de poder, para explicar las dificultades de los grupos del Subcomité para hacer oír su voz. (Esposito:2012; Foucault: 1988; Foucault: 1995; Latour: 1986))

## 1.- Introducción

Al pensar en problemas ambientales vienen a la mente escenarios de deforestación, contaminación, pérdida de agua y otros temas similares. Su solución, sin duda, está sujeta a voluntades políticas de funcionarios y a la eficiencia de las abundantes propuestas tecnológicas y de restauración generadas por centros de investigación y ONG's (en mucho menor medida). Los problemas sociales relacionados con el medio ambiente se vinculan – con razón- a los intereses de empresas y políticos, así como a la pobreza y el abandono de los pueblos y asentamientos donde se vive de manera más directa y cruda esta problemática. Suele pensarse también en la falta de información, educación y conciencia que requieren de acciones de sensibilización y/o educación ambiental. Frecuentemente estas acciones están enmarcadas en un sentimiento de idealización de los procesos que buscan mejorías colectivas, poniendo énfasis en la necesidad de la *participación social* (informada, de base, democrática, etc.). Pero ¿Qué pasa cuando se cuenta con recursos, participación, información y vínculos adecuados? ¿Garantiza esto el éxito de un proceso socioambiental? En este escrito reflexionamos sobre las

dinámicas de interrelacionamiento entre los miembros de esas comunidades, en los problemas y tensiones cotidianos que genera una *densa* convivencia en colonias o pueblos. Creemos que el conocimiento de los colectivos con los que se realiza cualquier acción ambiental (y de cualquier tipo) es una condición fundamental para imaginar cualquier posibilidad de mejora. Nuestra experiencia nos indica que la participación en sí misma no es una condición *sine qua non* que garantice la eficacia de la acción comunitaria, que existe un problemático relacionamiento y que las relaciones entre los miembros de una comunidad están mejor definidas por la tensión y el conflicto, que por la solidaridad y la ética. Analizamos nuestra experiencia de doce años en la facilitación de un proceso organizativo en la sierra de Santa Marta, el cual abordamos con las herramientas conceptuales convencionales acerca de comunidad y participación. El avance del proceso nos fue mostrando una dinámica de relacionamiento que no habíamos observado y modificó nuestra perspectiva sobre la vida en las comunidades. Nos ayudó a comprender una de las necesidades de apoyo y asesoría de los pueblos rurales de Santa Marta: el de la mediación en sus tensiones y conflictos. Esta reflexión se alimenta metodológicamente de nuestra observación participante del proceso durante doce años, así como de diversas encuestas y entrevistas semiestructuradas que formaron parte de las acciones impulsadas y que aportaron material para nuestro propio proceso de aprendizaje sobre las comunidades que trabajamos.

## **2.- Breve narrativa de la historia del Subcomité de cuenca**

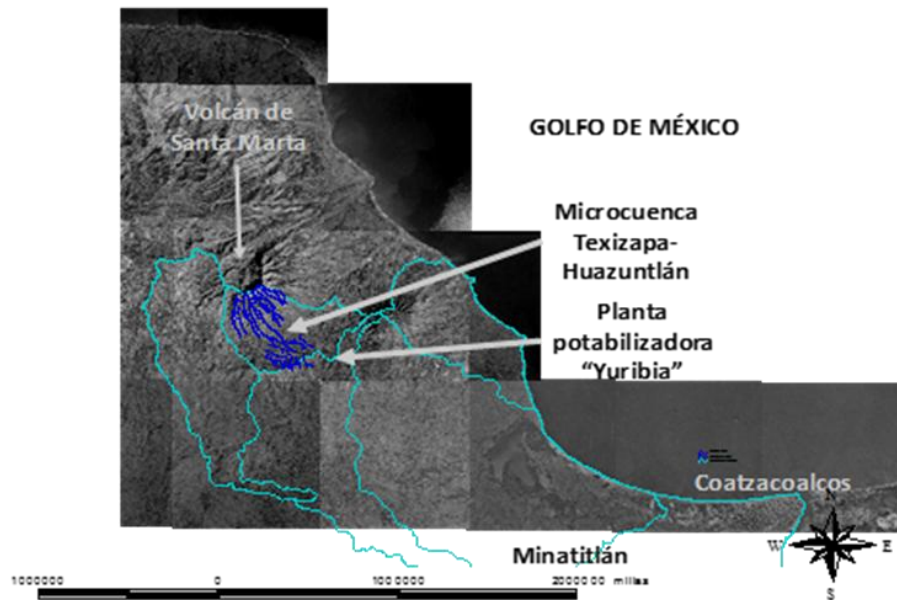
En Diciembre de 2004 autoridades de cuatro comunidades<sup>10</sup> de la sierra de Santa Marta se acercaron a DECOTUX A.C. a solicitar apoyo para una gestión ante las autoridades del municipio de Coatzacoalcos. Tomando como base que el agua consumida por la población de la ciudad es captada en los territorios de sus ejidos<sup>11</sup>, plantearon la necesidad de demandar caminos, clínicas y diversos servicios. Sin embargo, gradualmente la demanda se fue centrando en aspectos relacionados con el agua como forma de plantear un intercambio a Coatzacoalcos. A inicios de 2005, el grupo organizado estaba formado por grupos de los siete ejidos cuyos territorios formaban parte de la microcuenca. En el transcurso de las conversaciones los representantes de los ejidos expresaron sus inquietudes y problemas en relación con el agua, lo que condujo la discusión al ámbito socioambiental. Por un lado, estaba el hecho de que el agua de la cuenca la consumen las ciudades, pero por otro, emergieron sus propios problemas empezando por el abasto y calidad del agua para su consumo y uso productivo y terminando con los problemas de su gestión. Ellos mismos definieron acciones específicas prioritarias: la recuperación de la vegetación de las orillas de los arroyos y la de los nacimientos de agua. Fue en este momento cuando se tomó conciencia de la perspectiva de cuenca que se asumía. A partir de esto, se realizó un diagnóstico de vegetación ribereña en los siete ejidos de la cuenca que se presentó en abril de 2006 a autoridades del gobierno estatal y del gobierno municipal de Coatzacoalcos (Pacheco y Robles: 2006), y un documento propositivo denominado Plan de Restauración y Conservación de las cuencas de la sierra de Santa Marta (Robles y Pacheco: 2006). El objetivo era –y sigue siendo- lograr aportaciones de fondos de las ciudades para la recuperación ambiental de las cuencas de abasto.

---

<sup>10</sup> Ocotál Grande del municipio de Sotepán; Plan Agrario y Encino Amarillo del municipio de Mecayapan y Ocotál Texizapa del municipio de Tatahuicapan de Juárez.

<sup>11</sup> Coatzacoalcos, como Minatitlán y Cosoleacaque, consume agua que es captada por una cuenca de 4,850 hectáreas de estos ejidos más los de Tatahuicapan, Benigno Mendoza y Caudillo Emiliano Zapata. El agua es potabilizada en la planta Yuribia desde donde es enviada a las ciudades.

**Figura 1.-** Microcuenca Texizapa-Huazuntlán de donde se abastecen Coatzacoalcos, Minatitlán y Cosoleacaque



Fuente: Pacheco y Robles, 2006

Esto generó los primeros fondos destinados al mejoramiento de la cuenca (para parcelas demostrativas de restauración riparia y de mejoramiento de manejo ganadero) Los fondos fueron entregados a la asamblea del Subcomité cuyos representantes discutieron la forma en que serían distribuidos. El 29 de Junio de ese mismo año, una tromba generó derrumbes y deslizamientos en la cara sureste del volcán de Santa Marta que afectaron el funcionamiento de la planta Yuribia y obligaron a suspender el abasto de agua a las ciudades por una semana. Los reportes entregados al gobierno estatal por la organización y el equipo asesor generaron la canalización de recursos del Fondo Nacional de Desastres (FONDEN) que se destinaron a rehabilitar las áreas afectadas. Estos recursos fueron entregados en 2007 –en un hecho sin precedentes- a once cooperativas –que los grupos comunitarios formaron para tal efecto- para beneficiar a quince comunidades afectadas. La administración de estos recursos generó fuertes tensiones al interior de las comunidades y entre ellas. Por otra parte, a pesar del beneficio que implicó para las comunidades, la forma en que el gobierno entregó los fondos a las cooperativas, sin una cuantificación previa de daños, generó un problema de distribución. Es decir, las comunidades con mayores necesidades recibieron menos recursos que otras cuya problemática era menos aguda. Eso implicó una tensa redistribución de fondos –de una comunidad a otra- que ya habían sido apropiados por cada cooperativa desde el momento en que fueron recibidos.

Una vez que los elementos críticos de la organización social comunitaria fueron resueltos, las actividades pudieron realizarse de manera fluida. El vivero estuvo listo con una producción de novecientas mil plantas de más de veinte especies, al mismo tiempo que la información completa de los predios donde era necesario realizar acciones. La participación de los beneficiarios afectados, así como la de las autoridades ejidales y municipales de las comunidades, fue fundamental para este avance. El recurso se ejerció entre 2007 y 2008. Esto permitió consolidar los grupos comunitarios y atrajo a nuevos grupos entre 2009 y 2010. Asimismo, la

difusión del trabajo abrió una ventana a la disposición de los usuarios urbanos de apoyar el proceso con fondos a través del recibo del agua<sup>12</sup>. La propuesta de gobernanza del agua y corresponsabilidad de los usuarios no ha podido ser punto de una agenda de negociación por razones que se verán más adelante, relacionadas con el uso que Tatahuicapan, cabecera del municipio del mismo nombre, da a las instalaciones de la planta potabilizadora “Yuribia”.

El éxito en el ejercicio de los recursos FONDEN permitió optimizar los fondos y gestionar más recursos. En 2008 el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN) inició su apoyo al proceso incorporando a la Fundación Gonzalo Río Arronte. En 2009 la capacidad de la organización intercomunitaria facilitó la gestión de recursos en la CDI, así como la puesta en marcha de un programa de vivienda popular en coordinación con la asociación civil Unión de Colonos, Inquilinos y Solicitantes de Vivienda de Veracruz (UCISV-Ver). En 2010, se gestionaron en la cámara de diputados, diez millones de pesos del Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF). En 2011 se firmó un acuerdo para beneficiar 2,400 hectáreas con un programa de fondos concurrentes de Pago de Servicios Ambientales (PSA).

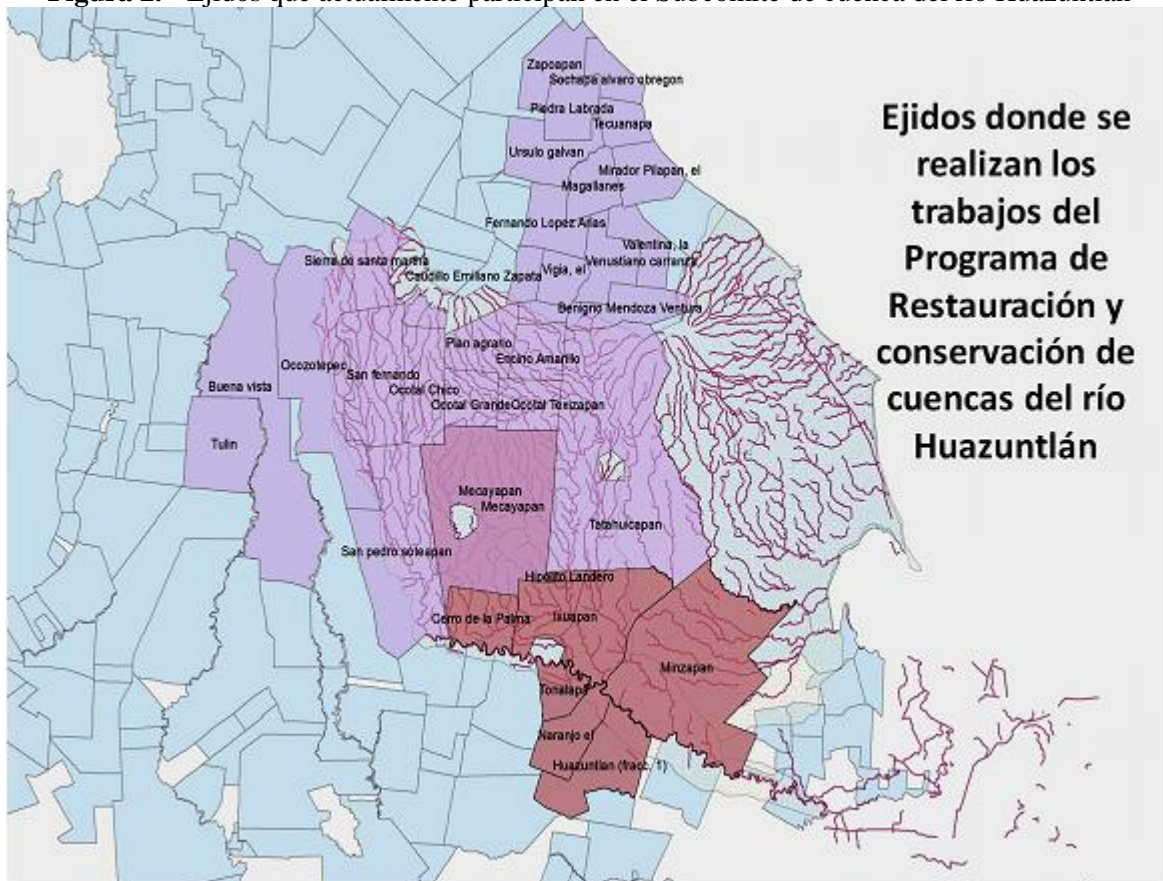
En 2014, se gestionaron otros 11 millones de pesos del PEF para acciones de mejoramiento ambiental en 30 comunidades. El Fondo Ambiental Veracruzano también ha aportado recursos a este proceso, así como el Instituto Nacional de Economía Social, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. En 2014, el Fondo Golfo México, con recursos del Banco Mundial sumó fondos al proceso en el que actualmente participan 35 comunidades de los cuatro municipios de la sierra (Soteapan, Mecayapan, Tatahuicapan de Juárez y Pajapan). Desde 2014 el Subcomité de Cuenca del río Huazuntlán forma parte del Consejo de Cuenca del río Huazuntlán como órgano auxiliar. Esto es resultado del proceso organizativo y la disciplina que el Subcomité ha impuesto en el cumplimiento de las metas y el manejo de los fondos.

---

<sup>12</sup> En 2008, DECOTUX realizó 500 encuestas en la ciudad de Coatzacoalcos para conocer la disposición de los usuarios del agua en esa ciudad en relación a la aportación de fondos para la conservación ambiental de las cuencas de abasto. La respuesta fue sorprendentemente favorable, aunque un programa de esta naturaleza no ha podido insertarse como punto de una agenda de gestión por la tensión generada en torno a la planta Yuribia.



**Figura 2.-** Ejidos que actualmente participan en el Subcomité de cuenca del río Huazuntlán



Los grupos cuentan actualmente con dos figuras jurídicas para gestionar y recibir los fondos: la *Sociedad de Producción Rural Subcomité de Cuenca del río Huazuntlán* y la *Sociedad Cooperativa de Productores Agroforestales de Mazumiapan Chico*. Todo esto ha permitido incorporar –con padrón y geoposicionamiento de parcelas- cuatro mil hectáreas a alguna actividad del Plan de Restauración y Conservación de las cuencas de la sierra de Santa Marta, y dos mil cuatrocientas hectáreas al programa de PSA. Sin embargo, estos avances no se dieron de manera automática. Más allá de los problemas técnico-ambientales, el equipo DECOTUX y las comunidades mismas enfrentaron problemas diversos. El primero fue el de las problemáticas relaciones sociales intra e inter comunitarias que llegó a poner en peligro la viabilidad de las actividades. Un segundo problema es el constante enfrentamiento que el ejido y el municipio de Tatahuicapan tienen con el gobierno estatal y con el municipio de Coatzacoalcos por lo que ellos reclaman como derechos del agua que se extrae de “su territorio” a través de la planta potabilizadora Yuribia<sup>13</sup>. En los siguientes párrafos se intentará discutir estos puntos.

### 3. - La Comunidad problemática

Nuestra idea de unidad y solidaridad entre los miembros de las comunidades se erosionó rápidamente ante los primeros compromisos que fue necesario adquirir, tanto al interior de las comunidades como entre las

<sup>13</sup> El análisis de la problemática de la presa Yuribia –construida en el ejido Tatahuicapan- en el sur de Veracruz requeriría un análisis aparte que rebasa las limitaciones de espacio de este escrito. En el apartado sobre la voz de las comunidades, se explica el proceso de apropiación de la presa por grupos de Tatahuicapan y el impacto que esto tiene en el relacionamiento que el Subcomité intenta hacer con las ciudades y el gobierno estatal.



comunidades participantes. Surgieron preguntas ¿Por qué las relaciones entre los sujetos de la sierra son tan tensas? ¿

Cuál es la razón por la que los vínculos derivan frecuentemente en actos de violencia? ¿Cuál es la razón de la “envidia” y las venganzas? ¿Por qué resulta tan difícil establecer alianzas dentro de las comunidades, entre las comunidades y entre grupos étnicos? ¿Por qué existe esa desconfianza tan acentuada en los miembros de las comunidades? ¿Por qué en cada asamblea de comunidad emergen, como temas prioritarios, acusaciones de desconfianza entre los miembros? Aunque no abordamos el tema en este escrito, también percibimos que la racionalidad ecológica campesina (Concheiro, Couturier y Marrufo: 2011: 4) se parece mucho a un proceso permanente de adaptación basado en la importancia que el vínculo con la tierra tiene en la conformación de la cultura campesina. Es decir, no encontramos la “*solidaridad*” como un *valor* intrínseco entre los campesinos sino como una obligación. La reciprocidad, la identidad y la comunidad misma, aparecieron para nosotros más como una necesidad que como una propiedad común con un valor ético en sí misma, y la *racionalidad ecológica* como una constante adecuación de sus estrategias de subsistencia. En este contexto ¿Qué es entonces lo que mantiene unidos a los sujetos de una comunidad?

### 3.1.-Comunidad, concepto de la modernidad

*Comunidad* es un término de la Modernidad que emerge en el siglo XIX europeo diferenciándose de la idea de sociedad, y que suele asociarse a valores y formas de vida tradicionales y rurales indígenas y campesinas. La categoría se revitalizó -en el plano teórico, político y social- en el siglo XX frente a la percepción de que la expansión del capitalismo tiende a homogenizar y borrar identidades. Posiblemente el mayor impacto en el campo del pensamiento académico y político deviene de las nociones acuñadas por sociólogos y filósofos alemanes y anglosajones.

La reflexión alemana ha tendido, en términos generales, a asociar a la comunidad de componentes afectivos, culturalistas, gregarios, románticos, naturales en donde los individuos se mueven inmersos en una especie de fusión colectiva relacionada con vínculos parentales, territoriales e históricos, diferenciando y delimitando un “nosotros” de otros “nosotros”. Las bases del concepto, que fueron desarrollados por muchos autores, se encuentran principalmente en Tönnies, Durkheim y Weber. Ferdinand Tönnies conceptualizó a la comunidad como un conjunto superior *vivo y orgánico* (*Gemeinschaft*) y la caracterizó como una densa red de relaciones recíprocas basadas en el parentesco y la relación directa de persona a persona. Sus normas son tácitas y los individuos se vinculan por una red de interdependencia mutua que influye en todos los aspectos de la vida. (Alvaro Daniel: 2010: 13). Durkheim delinea su noción de comunidad a partir de los que los sujetos tienen en común: valores, identidad, *moral*, territorio, tradiciones, religión. Domina la tradición y hay ausencia del individualismo, la justicia subordina al individuo al interés colectivo, y la conducta individual es determinada por la voluntad de la comunidad (Grondona: 2010: 6-10). Weber desarrolla el concepto de “acción social” y lo enriquece con el de “relación social” para referirse a *comunidad*. Ambas se basan en la reciprocidad -ligada a prácticas, costumbres y cultura- que los miembros o *actores* de un grupo se tienen unos a otros. Weber parte de la *acción* para sugerir a la comunidad como “la pertenencia conjunta subjetivamente sentida” (Weber:1984: 33). A este proceso de identidad subjetiva del que se desprende la acción social llama *comunización*. En un sentido casi opuesto, la semántica anglosajona relaciona “comunidad” con tendencias más bien voluntaristas y proactivas, que implican la incorporación consciente, racional y deliberada de los miembros de un colectivo que, además, permite potenciar su individualidad.

En el caso latinoamericano el concepto refleja todo aquello que es negado por la expansión de las relaciones de mercado: solidaridad, pertenencia, reciprocidad, cultura, tradición, mutua dependencia, fraternidad, identidad, territorialidad y es caracterizada como muro de contención y resistencia, y como víctima de los embates de la modernidad capitalista (Liceaga: 2013). En México, de acuerdo con Zolla (2014: Capítulo 2<sup>14</sup>): “...‘comunidad’ es [...] la categoría más usada por la antropología [y las ciencias sociales en general] para

<sup>14</sup> [http://www.nacionmulticultural.unam.mx/100preguntas/pregunta.php?num\\_pre=2](http://www.nacionmulticultural.unam.mx/100preguntas/pregunta.php?num_pre=2).

referirse a la estructura social básica, suprafamiliar, de los pueblos indígenas...Está compuesta por una base biológica y una base territorial...La célula o unidad mínima de esta base biológica [es] la familia nuclear; la unidad territorial menor [es] la parcela familiar...la *comunidad* se compone de: *familia nuclear* (caracterizada por afectos, lealtades, obligaciones y derechos); *familia extensa* (agrupación de familias nucleares ligadas por el trabajo cooperativo); *el linaje* (Unión de familias extensas que descienden de un ancestro común); *el territorio* (lugar de residencia y de panteones familiares); *el barrio* (sitio de organización política y de trabajo cooperativo); *el pueblo* (formación de dos o más barrios [...]) con pautas, norma y reglas que regulan la vida social. La cohesión se basa en ligas familiares, cooperación económica, mutua asistencia y sentimientos de solidaridad, lealtad y sacrificio.

[http://www.nacionmulticultural.unam.mx/100preguntas/pregunta.php?num\\_pre=3](http://www.nacionmulticultural.unam.mx/100preguntas/pregunta.php?num_pre=3)

Si bien estas nociones explican en parte las formas de relacionamiento y organización social en la sierra de Santa Marta, no son suficientes para aclarar nuestras preguntas. Roberto Esposito hace un planteamiento que ayuda a mirar con otro cristal esas interrogantes. El filósofo italiano discute la idea de comunidad como una cualidad que caracteriza a los sujetos que la integran o una “sustancia” atribuida a esa unión, y que genera una entidad mayor y mejor que la identidad individual (Esposito: 2012: 22). Para referirse a la comunidad usa el latín y la llama *communitas*, y parte de la palabra latina *munus* que, de acuerdo con Benveniste (1973: 79) adquiere el sentido de deber, obligación, servicio, carga, y Esposito la usa para referirse a la idea de lo que se comparte, y lo que se comparte es una deuda, una falta, una negatividad. *Communitas* es entonces el conjunto de personas a las que une no una propiedad, sino un deber, una deuda, una *nada*, la comunidad se asienta en esta *nada*, por lo que el dar es un don obligatorio y expropia a los sujetos. Esto plantea a la comunidad como algo social más allá de lo común y lo propio. En el caso de la sierra de Santa Marta, la idea de deuda u obligatoriedad introduce un elemento que nos permite comprender de mejor manera la tensión que detectamos siempre presente en las formas de relacionamiento comunitario, y que explica un temor común expresado por los pobladores serranos en la frase “nuestra principal preocupación es no tener problemas en la asamblea”. ¿Qué significa esto? En principio, evitar una sanción de la comunidad a quienes no cumplen con el *munus*, el deber, la obligación. Pero además de la sanción impuesta por la asamblea o *communitas*, se teme a la sanción personalizada que los miembros de la comunidad pueden llegar a realizar de distintas formas: desde brujería, hasta agresión física.

Pero son indudables los intentos para evadir este *munus*. El mismo autor lo denomina *Immunitas*, la contraparte de *communitas* es decir, exoneración de la deuda, tendencia que define la necesidad humana de diferenciarse de los “otros” (Esposito: 2012). Estar exento de la obligación del *munus*, implica necesariamente inmunidad frente a ese don y a esa deuda. La inmunidad pone límite a la comunidad al mismo tiempo que la conserva ya que una no puede existir sin la otra. Un ejemplo de *immunitas* lo tenemos en los representantes ante el Subcomité –elegidos por la asamblea de cada una de sus comunidades- y responsables del manejo de los fondos, de la vigilancia y verificación del cumplimiento de las actividades, de la compra de materiales y, en general, de dar seguimiento al cumplimiento de las metas del FONDEN, recibieron un pago por este trabajo. Fueron ellos en asamblea quienes decidieron la necesidad de un pago y el monto (un jornal de cien pesos diarios por seis días a la semana). En el mismo espacio se acordó no informar a los grupos y comunidades de este pago. El argumento fue que recibirían agresiones. El equipo técnico asesor planteó la necesidad de transparentar este aspecto “Es un trabajo, la gente debe entender que están poniendo su tiempo”. Los representantes discreparon ante este razonamiento y señalaron que renunciarían si esto se imponía como una obligación. Aun así, a algunos de ellos les fueron sacrificadas cabezas de ganado, quemados cultivos o parcelas y envenenadas áreas donde practicaban acuacultura. Por supuesto que hubo casos en los que los responsables se apropiaron públicamente de los fondos, pero sus propias asambleas comunitarias los destituyeron y expulsaron de los grupos (fueron solo dos casos). Es interesante notar como *immunitas* opera frente a *communitas* para mantener el compromiso. La inmunidad demandada por los representantes de los grupos de trabajo de cada pueblo (que en ese momento eran quince de diferentes comunidades, etnias e idiomas) ante el compromiso en su comunidad, facilitó el mantenimiento de las relaciones recíprocas que

permitieron la realización de los trabajos y el cumplimiento de las metas. Sin su trabajo habría sido imposible cumplir el compromiso.

Pero aún teníamos el problema de la tendencia a distribuirse a partes iguales los recursos FONDEN<sup>15</sup> que llegaron a las cooperativas campesinas por la tromba de 2006. Su manejo implicó una enorme tensión al interior de cada comunidad y entre las comunidades participantes que estuvo cerca de hacer naufragar los intentos de organización y canalización del recurso hacia la restauración y conservación ambiental. Aun cuando los representantes eran responsables del manejo administrativo, las decisiones sobre el monto recibido por cada cooperativa eran tomadas en las asambleas comunitarias. Ahí se presentaron dos posiciones: la que pugnaba por distribuirse todo el dinero entre los ejidatarios (excluyendo a los avecindados o pobladores sin tierra), y la de los representantes comunitarios ante el Subcomité, los avecindados y el equipo técnico asesor (DECOTUX). El problema central era que la *comunidad* se estaba definiendo sólo en los ejidatarios quienes argumentaban que, debido a que las tareas se realizarían en sus parcelas, ellos deberían manejar y distribuirse los recursos. Una segunda cuestión fue que de último momento decidieron que no se respetarían los presupuestos asignados a cada actividad y que se distribuirían los recursos a partes iguales.

¿Cómo se resolvió esta tensión? ¿De qué manera contribuyó el *munus* a resolver las tensiones entre los participantes en el Subcomité de cuenca del río Huazuntlán? Durante cuatro semanas se realizaron interminables reuniones y asambleas en las comunidades involucradas. Quienes estábamos en la segunda posición argumentamos acerca de la necesidad del apoyo solidario, el compromiso con los otros, los problemas que la tromba había generado en muchas familias, sobre el apremio de la unidad entre los pueblos. Nada de esto pudo mover la posición de los ejidatarios. Fue cuando recurrimos a la amenaza de la sanción cuando los puntos de vista comenzaron a moverse. Si la comunidad sancionaba el no cumplimiento de los compromisos, entonces el gobierno sancionaría el no cumplimiento de las metas y la sanción era la cárcel. Irían a la cárcel no sólo los responsables del manejo de los recursos recibidos, sino aquellos que hubieran recibido fondos fuera del programa de trabajo. Además, se dijo, si era necesario que recursos de la cooperativa fueran a otra comunidad para cumplir la meta debían canalizarse. El miedo a la sanción (cárcel) mitigó las posiciones extremas y permitió la toma de acuerdos en las asambleas comunitarias participantes. Fue necesario recordar con frecuencia la sanción para mantener la disciplina financiera y lograr que los fondos llegaran a todos los involucrados. Al final, se lograron ahorros que permitieron dar mantenimiento a parte de los trabajos realizados, e involucrar a otras comunidades.

El proceso logró credibilidad porque todos los involucrados recibieron apoyos dignos para el mejoramiento de sus parcelas y para reforestar. El apoyo incluía pago del trabajo (5 mil pesos/ha para reforestar, por ejemplo), materiales, asesoría técnica y planta (producida en el vivero de Ocotál Grande que este año cumple nueve años de operación ininterrumpida y sigue dando ocupación a campesinos sin tierra). Si bien el recurso se distribuyó ciertamente entre los dueños de la tierra, esto se hizo con base en un Plan de Trabajo, y con el compromiso de dar trabajo a los avecindados. Actualmente la Asamblea del Subcomité de Cuenca del río Huazuntlán, reúne a 35 comunidades y sus reglas básicas son: trabajo hecho trabajo pagado; todo trabajo pagado debe ser verificado; respeto a las formas de organización de cada comunidad y cada familia beneficiaria; el no cumplimiento implica expulsión de los grupos (lista negra); la distribución de todo recurso gestionado se discute en la Asamblea del Subcomité y en las Asambleas Comunitarias. Actualmente los recursos para el trabajo en 35 comunidades se gestionan en diversos programas e instituciones. Para sufragar la

<sup>15</sup> Para el ejercicio del FONDEN, se diseñaron actividades desde restauración de vegetación primaria, hasta control de derrumbes y deslizamientos. Cada actividad tenía un presupuesto por hectárea (materiales y pago de trabajo-jornales), consultado en la asamblea del Subcomité y aprobado en las asambleas de las comunidades. Los ejidos con cooperativas eran: Caudillo Emiliano Zapata, Benigno Mendoza, Tatahuicapan, Ocotál Texizapa, Encino Amarillo, Plan Agrario, Ocotál Grande, Ocotál Chico, Mazumiapan Chico, Soteapan y Santa Marta. Las comunidades que no formaron cooperativas fueron: Ocozotepec, San Fernando, Colonia Benito Juárez, Venustiano Carranza. Todas de los municipios de Soteapan, Mecayapan y Tatahuicapan. Las cooperativas recibieron 27 millones de pesos. Pagaron \$3'521,739 de IVA. De los 18'478,260 pesos restantes ahorraron 5 millones de pesos que fueron usados para mantenimiento de los trabajos realizados y apoyo a las cuatro comunidades sin cooperativas. Estos montos dan idea de la dimensión de la tensión generada.

conservación/restauración, el Subcomité propone que los usuarios del agua aporten una cantidad en sus recibos. Esta sería monitoreada por una instancia donde participen los usuarios, el Subcomité y las tres instancias de gobierno (municipal, estatal y federal). Sin embargo, esta propuesta choca de frente con otra compleja gestión. La del ejido Tatahuicapan.

### **3.- Tatahuicapan: la piedra en el zapato**

El segundo problema es el de la voz de la organización en el contexto regional. Es importante subrayar que el Subcomité se abstuvo de convertirse en una organización política considerando que la rehabilitación ambiental requiere de la participación de todos los grupos sociales y políticos, por lo que su transformación en una entidad de tipo político hubiera generado el alejamiento de grupos que no compartieran la perspectiva asumida. En consecuencia, en el Subcomité se coordinan grupos de todas las tendencias políticas: desde militantes de Morena, hasta miembros del grupo Antorcha Campesina. Esta decisión, sin embargo, tiene consecuencias.

Como se mencionó antes, en Tatahuicapan se encuentra la planta potabilizadora Yuribia que capta y envía el agua a las ciudades de Coatzacoalcos, Minatitlán y Cosoleacaque. Desde el inicio de su construcción, los pobladores de este ejido lucharon para lograr que, a cambio del agua que extraerían del territorio ejidal, el gobierno promoviera el desarrollo: escuelas, clínicas de salud, caminos de acceso. Debido a la importancia de las ciudades para el desarrollo de la industria petroquímica nacional, las demandas fueron satisfechas. Sin embargo, la “Yuribia”, como le dicen los pobladores a la planta, siguió siendo utilizada como medio de presión social ante nuevos reclamos sociales y políticos<sup>16</sup>. Con el paso del tiempo, la “Yuribia”, se convirtió en eje de la relación con el municipio de Coatzacoalcos y el gobierno estatal y hoy, todo el que quiera ocupar un cargo en el ejido o el municipio debe tener una propuesta de gestión para la “Yuribia”

La apropiación que los ejidatarios y pobladores de la cabecera municipal de Tatahuicapan hacen del agua, con base en su entendimiento de *sus derechos* sobre ella, ha generado diferencias importantes con los pobladores de toda la sierra, incluyendo los de las comunidades de su propio municipio. Lo que empezó como una lucha legítima por el mejoramiento de las condiciones de vida, se ha convertido en manzana de la discordia gracias a la entrega de 2.5 millones de pesos mensuales que el gobierno estatal hace al ejido desde 2015, como pago para evitar el cierre de la “Yuribia” y que se distribuyen entre ejidatarios (de Tatahuicapan) y pobladores de la cabecera municipal sin transparencia alguna en su manejo. Por un lado, los pobladores de la sierra se sienten excluidos, y por otro, se percibe un premio a los actos de fuerza de Tatahuicapan. Debido a que los tatahuicapeños consideran que los derechos sobre la presa son suyos por ubicarse ésta en su territorio, no sienten el compromiso de compartir con ninguna comunidad de la sierra, ni siquiera las de su municipio, los beneficios obtenidos. Tampoco es importante que el agua que la planta procesa y envía a las ciudades, sea captada por un territorio que rebasa los límites del ejido y municipio de Tatahuicapan.

En un primer momento el Subcomité –apoyado por DECOTUX- emprendió en Tatahuicapan acciones de concientización del funcionamiento de la cuenca, y de su importancia para la “Yuribia”. Sin embargo, la convicción de los tatahuicapeños fue inamovible. Esto llevó a difundir en las ciudades el trabajo para diferenciar al Subcomité de los grupos que cortan el suministro de agua. La difusión ha sido importante porque en las ciudades la población incluye a todas las comunidades en el adjetivo de “tomapresas”. A pesar de los problemas que causa el cierre constante de la presa, los tatahuicapeños han logrado construir un discurso que convence a autoridades y pobladores afectados de la justicia de sus acciones. Incluso, en la sierra, a pesar de las quejas de exclusión, los pobladores de la cabecera de Tatahuicapan son vistos como “fuertes”, “organizados”, “luchadores” (aunque esta perspectiva sobre ellos se ha ido deteriorando desde que reciben los

---

<sup>16</sup> Por ejemplo, 23 comunidades de los municipios de Soteapan y Mecayapan decidieron, en 1992, integrar el municipio de Tatahuicapan de Juárez ante el abandono de sus cabeceras municipales. Ante la lentitud del Congreso Estatal, políticos de Tatahuicapan decidieron cerrar la “Yuribia” por cuatro días movilizand a la población del ejido Tatahuicapan. Testimonios de habitantes de los pueblos que solicitaron la formación del municipio, aseguran que no fueron convocados a las movilizaciones pues los ejidatarios de Tatahuicapan consideran que son los únicos con derecho a entrar a la planta.





2.5 millones de pesos). Pero ¿Cómo es que Tatahuicapan ha logrado convencer de la “justicia” de sus acciones?

Los procesos del Subcomité y de Tatahuicapan han dado lugar a formas diferenciadas de organización social y a tipos específicos de relaciones de poder, entendidas en su forma más básica como “...*modos de acción de unos sobre otros*...” (Foucault: 1988: 238, 239). Así, las diferencias entre ellos y las relaciones de poder derivadas, nos llevan a plantear como principales problemas a la representación política y la forma en que los recursos, su uso, sus beneficios y los derechos sobre ellos son incorporados en la agenda y la gestión de los representantes, tanto del Subcomité como de Tatahuicapan, y expresados en sus discursos, demandas y propuestas.

Bruno Latour plantea que el *poder* es una ilusión que las personas tienen cuando son obedecidas (Latour: 1986: 269), además de ser resultado de una acción colectiva que constituye las relaciones de poder, explicadas a través de “otros” que obedecen como consecuencia y no como un contrato que enmascara una relación de dominación (Ibid: 265). Es el caso de los grupos de Tatahuicapan que constantemente cierran la presa “Yuribia”, desplegando estrategias en las cuales el objetivo no es el poder en sí mismo sino sus efectos (Foucault: 1988: 239) sobre los gobiernos: los municipales de las ciudades usuarias y el estatal. En este sentido, los tatahuicapeños son poderosos porque definen en la práctica el sentido de su asociación y de las acciones del gobierno (Latour: 1986: 273). La acción social de los colectivos de Tatahuicapan está imbuida por su interpretación, como sujetos, de sus necesidades, proyectos, mandatos y deseos. El discurso –que construye “verdades”– se vuelve entonces un elemento básico de estas relaciones de poder. La “verdad” (conjunto de interpretaciones basadas en la violencia simbólica, histórica y de clase) es agenciada por los grupos de Tatahuicapan que monopolizan la acción de fuerza (el corte de suministro de agua) y la producción del discurso, apropiándose el derecho a formular enunciados en instancias de decisión institucional y social. (Foucault, 1995:112). El reclamo sobre la pobreza, la exclusión, el abandono, la falta de cumplimiento de compromisos y promesas gubernamentales se vincula a la acción constante de cerrar la llave de paso vinculando así, relaciones de fuerza y relaciones de verdad en donde ésta se despliega desde una posición de lucha (Ibid: 112).

Los líderes de Tatahuicapan emiten enunciados en función de un propósito (intención comunicativa) (Gracia, Tani: 2005:5), capaces de instaurar una realidad (Ibid: 2) como la que se vive en la sierra que, si bien se basa en el discurso de la igualdad y la lucha social, excluye a todos los sujetos ubicados fuera de sus definiciones territoriales e ideológicas (a pesar de que se los incluye en el discurso al hablar a nombre de todos los indígenas nahuas y popolucas de la sierra), sin importar si son tan pobres y excluidos como ellos. Su decir tiene por lo tanto consecuencias sociales y jurídicas. (Ibid: 5). La voz de los grupos del Subcomité, falto de las acciones de fuerza de Tatahuicapan, se encuentra entonces opacada. Sin duda este escenario, en donde el gobierno prefiere administrar los conflictos político/sociales en lugar de resolverlos, implica un obstáculo muy complejo para el logro de los objetivos buscados, no sólo por los miembros del Subcomité, sino por amplios sectores de la sociedad, incluso gubernamentales, cuyo sentido es el de sentar bases para una gobernanza ambiental que permita garantizar el abasto de agua en volumen y calidad para las generaciones presentes y futuras. No importa que los grupos representen a 35 comunidades de cuatro municipios, la falta de las acciones de poder (fuerza) ha eliminado, hasta ahora, cualquier posibilidad de que sus enunciados (discursos) tengan un sentido de realidad, de verdad, aun cuando los sujetos que los escuchan les conceden razón.

## Conclusiones

El proceso de gestión del Subcomité de Cuenca del río Huazuntlán en las cuencas de la sierra de Santa Marta ha enfrentado diversos problemas. Entre ellos destacan: la dinámica de la *comunidad* y la voz sin fuerza (aún) de sus participantes. Subrayamos las diferencias encontradas entre la noción de comunidad basada en la *sustancialización* de valores como ética, moral y solidaridad, y la obligatoriedad forzada de reciprocidad que muestra la presencia de una deuda (*munus*) como un cemento más fuerte de lo que Esposito llama la





*Communitas*. Durante el ejercicio de un proyecto importante, el descubrimiento de su contraparte (*Immunitas*) y la reconfiguración de la idea de sanción al no cumplir con el *munus*, permitió reconstituir vínculos comunitarios basados en el compromiso y cumplir con las metas pactadas. La obligatoriedad y la sanción otorgaron confianza en el proceso y permitieron la continuidad del Subcomité en el tiempo y su crecimiento, tanto en participantes como en extensión. Sin embargo, la dimensión regional del Subcomité no ha sido suficiente para otorgarles una voz lo suficientemente fuerte para influir en procesos de toma de decisiones más amplios y relacionados con instancias de gobierno. La dinámica de cortes de suministro de agua realizada cotidianamente por los grupos de Tatahuicapan en la planta “Yuribia”, ligada a un discurso que reclama la exclusión, la marginación y el no cumplimiento de promesas y compromisos, ha dado la “voz de la enunciación” a los actores tatahuicapeños quedando la voz del Subcomité en un segundo plano, a pesar de ser una voz más representativa, mediadora y propositiva. Se atribuye esto a dos motivos: la práctica gubernamental de administrar los conflictos sociales en vez de conjurarlos, y la falta de un sentido político del Subcomité que ha limitado las acciones de fuerza que suelen llamar la atención de gobiernos y sociedad. Finalmente, subrayamos que uno de los apoyos que los grupos rurales demandan de actores de la sociedad civil, aunque no explicitan, es el de la mediación en la trama de su conflictivo relacionamiento social.

## Bibliografía

- Álvaro Daniel (2010) “Los conceptos de ‘comunidad’ y ‘sociedad’ de Ferdinand Tönnies” en *Papeles del CEIC* # 52, marzo 2010 (ISSN: 1695-6494)
- <http://www.identidadcolectiva.es/pdf/52.pdf> Fecha de consulta 20 Agosto 2016
- Benveniste E. 1973. “Indo European Language and Society” in *Studies in general linguistics*. Pp. 71-83. Faber and Faber Limited. London U.K. <http://storage.ugal.com/3871/benveniste02.pdf> consultado 21/Agosto/2016
- Concheiro B. L., Couturier B. Patricia y Marrufo H. Eduardo. 2011 “Pachamámicos versus modernos” Ponencia presentada en el 8º Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales (AMER) *Campesinos y procesos rurales: Diversidad, disputas, alternativas*. 24-27 Mayo 2011. Puebla, Pue.
- Esposito Roberto. 2012. *Communitas: Origen y destino de la humanidad*. Amorrortu Editores. Buenos Aires.
- Foucault Michel (1988). “Por qué estudiar el poder: la cuestión del sujeto”. Pp. 227-235 en Hubert L. Dreyfus y Paul Rabinow. *Michel Foucault: más allá del estructuralismo y la hermenéutica*. México D.F.: UNAM. Instituto de Investigaciones Sociales.
- Foucault, Michel. *Arqueología del saber*, México, Siglo XXI, 1995.
- Gracia Núñez María - Tani Ruben. 2005. “Apuntes para una arqueología de la producción social de las interpretaciones” en *Espéculo* No. 31 Noviembre 2005/Febrero 2006. Revista Digital de estudios literarios. Universidad Complutense de Madrid.
- Grondona Ana Lucía. 2010. “La sociología de Emile Durkheim: ¿una definición ‘comunitarista’ de *lo social*?” en *Papeles del CEIC* # 55, marzo 2010 (ISSN: 1695-6494) CEIC
- <http://www.identidadcolectiva.es/pdf/55.pdf> Fecha de consulta 20 Agosto-2016
- Latour Bruno. 1986. “The powers of association”. En *Power, Action and Belief. A New Sociology of Knowledge?* Edited by John Law. Sociological Review Monograph 32. Pp. 264-280. London: Routledge and Kegan Paul.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Liceaga Gabriel. 2013 “El concepto de comunidad en las ciencias sociales latinoamericanas: apuntes para su comprensión” En *Cuadernos Americanos* 145 (México, 2013/3), pp. 57-85.
- <http://www.cialc.unam.mx/cuadamer/textos/ca145-57.pdf> Fecha de consulta 24-Agosto-2016
- Pacheco Mamone Alejandra, Robles Carlos. 2006. *Diagnóstico de la microcuenca del arroyo Texizapa Huazuntlán y propuesta derivada: Áreas riparias*. PNUD-CONAMP-Dirección de la Reserva de la Biosfera “Los Tuxtlas”. Desarrollo Comunitario de los Tuxtlas A.C. Documento de trabajo.
- Robles Carlos y Pacheco Mamone Alejandra. 2006. *Plan para la restauración y conservación de las cuencas de la sierra de Santa Marta*. PNUD-CONAMP-Dirección de la Reserva de la Biosfera “Los Tuxtlas”. Desarrollo Comunitario de los Tuxtlas A.C. Documento de trabajo.
- Tönnies, F., 1947, *Comunidad y sociedad* [1887], trad. de J. Rovira Armengol, Losada, Buenos Aires.
- Weber, Max. 1984 [1921]. *Economía y Sociedad. Esbozo de Sociología Comprensiva*, México: Fondo de Cultura Económica.
- Zolla, Carlos y Zolla Márquez, Emiliano. 2004. *Los pueblos indígenas de México, 100 preguntas*. México, UNAM, 2004. <http://www.nacionmulticultural.unam.mx/100preguntas/index.html> Consultado el 24 de Agosto de 2016



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 194. Alejandra Leal; Guadalupe Arreola; Raúl Vidales; Héctor Ulises Sánchez. IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE REDES SOCIALES PARA LA GESTIÓN DEL AGUA POR CUENCA: EL CASO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIQUITO, MORELIA, MICHOACÁN

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Instituto Municipal de Planeación - Morelia, Av. Camelinas 882-2, <sup>i</sup>aleal@implanmorelia.org

<sup>b</sup> Escuela Nacional de Estudios Superiores - Morelia, Antigua Carretera a Pátzcuaro 8807, lu.arreolag@gmail.com

## RESUMEN

El río Chiquito ubicado en el municipio de Morelia (Michoacán, México) presenta graves condiciones de deterioro resultado de gran cantidad de acciones –históricas y contemporáneas- realizadas en el espacio de la microcuenca. Para mejorar los procesos de gestión del agua, se requiere entender la estructura mediante la cual se toman las decisiones. De este modo, partimos de la teoría de la estructuración que permite concebir las relaciones entre diferentes actores.

Esta investigación tiene como objetivo caracterizar las relaciones entre los tomadores de decisiones gubernamentales para la gestión del agua en la microcuenca del río Chiquito. Para ello se utilizó el Análisis de Redes Sociales (ARS) el cual es clave para la elaboración de estrategias de manejo adecuadas en el marco de las políticas públicas ambientales, relacionadas con la planeación y manejo de microcuencas.

Con base en la normatividad vigente, se identificaron a los actores gubernamentales con atribuciones directas sobre el agua: Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), la Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas (CEAC) y el Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia (OOAPAS). Aunado a ello, se detectaron otros actores que inciden en la gestión del agua y en la microcuenca; se visualizó la centralidad de los actores - aquellos más conectados- y se identificaron aquellos que funcionan como intermediarios y colaboradores. Identificar cuáles son las atribuciones y las relaciones entre los actores implicados en la toma de decisiones sobre la microcuenca es clave para la planeación eficiente de gestión integral del agua en el marco de manejo de cuencas, con base en principios de cooperación, colaboración y auto organización.

**Palabras clave:** Río Chiquito, gestión del agua, análisis de redes sociales, estructura normativa

## 1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación es conocer cómo se estructuran los actores con atribuciones sobre la gestión del agua en la microcuenca del río Chiquito (Morelia, Michoacán) de acuerdo con las políticas vigentes; esto permite obtener un diagnóstico de actores gubernamentales con incidencia en este espacio y, a futuro, conseguir una planeación eficiente bajo el enfoque de manejo integral de cuencas en el municipio de Morelia. Debido a que los procesos de políticas ambientales comprenden complejos modos de integración entre actores de diversos niveles jerárquicos y sectoriales, el análisis de redes sociales (ARS) ofrece un enfoque adecuado, de carácter cuantitativo, para investigar los procesos de colaboración (Lienert, Schnetzer, & Ingold, 2013).

El río Chiquito ubicado en el municipio de Morelia, Michoacán (México) presenta grave deterioro resultado de gran cantidad de acciones –históricas y contemporáneas- realizadas en la microcuenca, la cual abarca una superficie de casi 6,500 hectáreas y se ubica en la periferia suroriente de la ciudad. Además, históricamente ha sido un sitio de gran importancia ya que se han asentado diferentes grupos prehispánicos, asimismo, la presencia del río Chiquito –y el río Grande- fue elemental para la fundación de la ciudad de Valladolid (hoy Morelia) en el siglo XIV y abastecer de agua a sus habitantes (Sánchez, 2011). Se conoce también que, a través del tiempo la microcuenca se ha deteriorado, debido a malas prácticas de manejo de los bosques en la producción de madera y carbón, provocando que el agua del río se contaminara con este tipo de residuos. Destaca además la rectificación del río en la sección más cercana a la ciudad en 1937 (Urquijo & Sánchez, 2012).

Actualmente, es considerada uno de los sitios de más alta biodiversidad en el municipio (López & Fuentes, 2007) y uno prioritario para la conservación. Sin embargo, en la parte alta de la microcuenca existen procesos de degradación ambiental como el cambio de uso de suelo que se ha agravado con los años debido a la urbanización acelerada de la zona, la pérdida de comunidades vegetales por la deforestación de bosques cercanos los lugares recientemente urbanizados (Medina, 2010), la deforestación y la erosión, por mencionar algunos. Aunado a ello, el río Chiquito -en su parte urbana- presenta índices de calidad de agua inaceptable<sup>17</sup> producto de la descarga de aguas residuales sin tratamiento, el depósito de gran cantidad de sedimentos, presencia de residuos sólidos (que deben ser manejados adecuadamente), entre otros detectados (Sánchez, 2011).

La configuración territorial es heterogénea, -una zona rural, una periurbana y otra urbanizada-, donde además de procesos de degradación por la presión sobre los ecosistemas, la disminución de zonas forestales, erosión o la contaminación de los cuerpos de agua, encontramos fenómenos sociales como la segregación social, asociados al uso residencial y expansión inmobiliaria en el territorio (Urquijo & Sánchez, 2012). En la parte media microcuenca se ha impulsado un desarrollo urbano mixto comercial y habitacional uno de los principales factores de segregación social, el crecimiento urbano de la zona sur ha resultado en un mayor número de fraccionamientos urbanos irregulares; el desarrollo inmobiliario ha sido impulsado por políticas urbanas que han subordinado a las políticas ambientales para promover intereses de particulares (Ávila, et. al., 2012). Existe una brecha amplia entre los actores que interactúan en la cuenca, existe precariedad en servicios de agua de algunas zonas, diferenciación en cuanto al abastecimiento de agua, mientras que en la ciudad o algunas localidades llega diario, en otras cada tercer día, otras no reciben o sólo en algunas épocas del año (Sánchez 2011). En algunas zonas hay ineficiencia en el servicio de abastecimiento de agua potable, saneamiento y alcantarillado. En la parte baja se ha registrado una mayor susceptibilidad a inundaciones por el incremento de escorrentías producto principalmente de la deforestación y el cambio de uso de suelo en la parte alta.

Estas condiciones en la microcuenca del río Chiquito no son fortuitas, para ejecutar acciones en este espacio diversos actores tomaron decisiones con criterios e intereses particulares en el territorio, de este modo resulta importante identificar a los actores y cómo se articulan con otros para incidir en la microcuenca. Este análisis hace énfasis en el componente gubernamental y normativo, ya que son elementos de importancia para estructurar planes, programas y políticas específicas relacionadas con el agua. La revisión del marco jurídico para la planeación en materia de agua provee insumos cruciales para identificar posibles dificultades para el manejo integral de la microcuenca del río Chiquito. Algunos obstáculos planteados por Dourojeanni (2004) y Dourojeanni & Jouravlev (2001) destacan el desorden en la organización para la gestión del agua y las cuencas: 1) carencia para definir e identificar atribuciones, 2) confusión de roles asignados a las organizaciones y 3) fragmentación por sectores responsables del control, administración y aprovechamiento del agua. Es por ello, que para lograr una planeación eficiente en materia de agua bajo el enfoque de manejo

<sup>17</sup> Con base en Sánchez, 2011. Modificado de la escala de clasificación de la calidad del agua para usos específicos según el índice de calidad de agua que fue utilizado por la CONAGUA desde la década de 1970 hasta el 2005 (SEMARNAT, 2005)

integral de cuencas en el municipio de Morelia resulta crucial detectar los obstáculos propuestos por Dourojeanni (2004) y Dourojeanni & Jouravlev (2001) en la estructura gubernamental para la gestión del agua en la microcuenca del río Chiquito, para así poder tener propuestas sólidas de colaboración entre distintos actores (gubernamentales, iniciativa privada, organizaciones sociales, científicos, entre otros).

### **Gestión del agua con enfoque de cuencas**

La cuenca es un territorio definido por la topografía y el flujo natural del agua donde se configuran procesos ligados espacial, temporal y funcionalmente; por ello ha sido considerada como la unidad de planificación más adecuada para la gestión del agua (Cotler, et. al., 2013; Cotler, 2007; Díaz, et. al., 2003; Dourojeanni & Jouravlev, 2002; Sánchez, 2011). La política de planeación, uso y distribución del agua en México reconoce la importancia de incorporar el enfoque de cuenca para la adecuada gestión del agua (Vargas-Velázquez, 2003). Comúnmente la gestión del agua suele estar fragmentada por sectores responsables de su control y aprovechamiento (Sánchez, 2011); *“se administra un sistema integrado y un recurso compartido en forma parcelada y en consecuencia se crean mayores situaciones de conflicto con relación al aprovechamiento del agua en lugar de evitarlas, minimizarlas o solucionarlas”* (Dourojeanni et al., 2002). La sectorización limita la gestión integrada del agua pues las entidades sectoriales actúan independientemente o con débiles sistemas de coordinación; dando como resultado un gran número de instituciones involucradas en los usos del agua, sin que ninguna de ellas tenga el control completo de su gestión (Dourojeanni & Jouravlev, 2002).

Sin perder de vista el manejo integral de cuencas, definido por la *Watershed Alliance* como un proceso de planeación territorial adaptativo e integrado dentro de una cuenca que proporciona un marco para la toma de decisiones ayudando a identificar las problemáticas, para definir a corto y largo plazo objetivos, metas y acciones (RDRWA, 2015), para efectos de esta investigación haremos énfasis en la gestión del agua<sup>18</sup>, entendida como se define en la *Ley de Aguas Nacionales* (1992), pues ésta incluye mecanismos de dirección política para regular el acceso, atender demandas y conflictos en torno a su uso (Vargas-Velázquez, 2002). Asimismo, la gestión en cuencas implica la coordinación entre múltiples actores, los cuales se articulan por el agua, tales como las autoridades de las demarcaciones político-administrativas, de las instituciones públicas o privadas, la academia, las organizaciones no gubernamentales y necesariamente de los usuarios del recurso hídrico y de los habitantes de la cuenca. En este trabajo sólo nos centraremos en las autoridades gubernamentales.

### **Marco normativo en materia de agua en México**

En la Ley de Aguas Nacionales se establecen figuras jurídicas para la gestión del agua a nivel de cuencas: consejos, comisiones y comités de cuencas, que son instancias de coordinación entre diferentes actores con el objetivo de identificar, analizar y pronosticar problemas, demandas y necesidades del uso del agua en una cuenca; ello para conciliar intereses entre diferentes actores para su manejo, definir planes y programas para mejorar la gestión del agua (LAN o DOF 1992, DOF 2016, Artículo 5 y Capítulo IV). A pesar de estas consideraciones en la legislación, no existe un manejo integral de cuencas a nivel municipal, tampoco una gestión y administración del agua eficiente (Barkin, 2005, Vargas et al., 2009) hechos que se reflejan en las condiciones de deterioro en distintas cuencas a lo largo del país, siendo la cuenca Lerma-Chapala (incluyendo

---

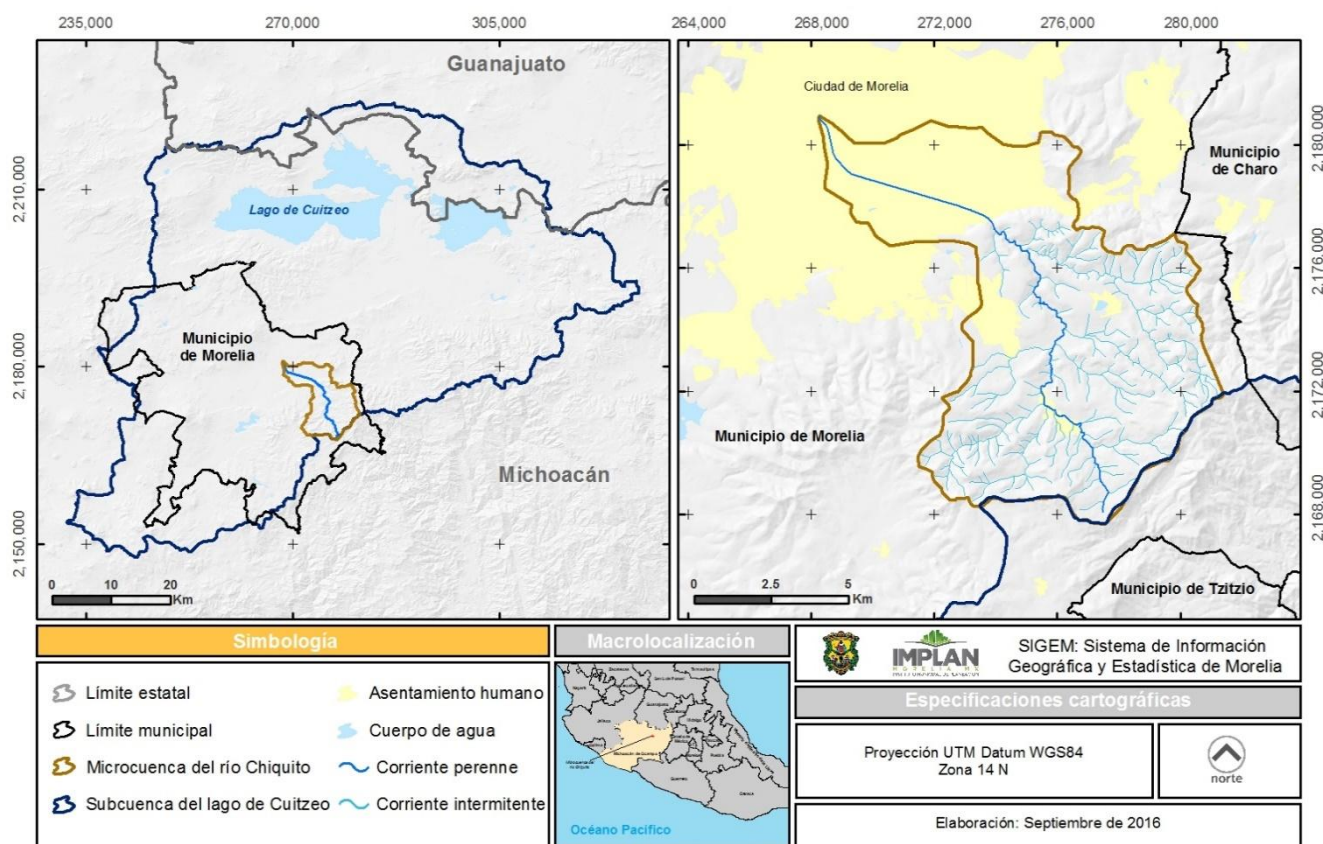
<sup>18</sup> Proceso sustentado en el conjunto de políticas, instrumentos, atribuciones y responsabilidades, mediante el cual coordinadamente el Estado, los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad, promueven e instrumentan para lograr el desarrollo sustentable en beneficio de los seres humanos y su medio social, económico y ambiental, (1) el control y manejo del agua y las cuencas hidrológicas, incluyendo los acuíferos, por ende su distribución y administración, (2) la regulación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua, y (3) la preservación y sustentabilidad de los recursos hídricos en cantidad y calidad, considerando los riesgos ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios y daños a ecosistemas vitales y al medio ambiente. La gestión del agua comprende en su totalidad a la administración gubernamental del agua.



todas sus subcuencas, como la del Lago de Cuitzeo, y microcuencas, como la del río Chiquito) de las más afectadas en términos tanto sociales como ecológicos.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca del río Chiquito pertenece a la subcuenca del lago de Cuitzeo (Figura 1) que forma parte de la región hidrológica 12 Lerma-Santiago. Su polígono abarca parte de la zona suroriente de la ciudad de Morelia, tiene una superficie de aproximadamente 90 km<sup>2</sup> (Sánchez, 2011). La microcuenca se compone de una zona eminentemente rural y otra urbana. En la zona rural se ubican 10 km del río, mientras que al ingresar a la ciudad son 7 km hasta la confluencia con el río Grande.



**Figura 10 Ubicación de la microcuenca del río Chiquito.**

*Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2016; INEGI, 2014; INEGI, 2010; INEGI, 2015; Mendoza, et.al, 2006*

En cada una de estas zonas, se presentan distintas circunstancias producto de decisiones históricas y contemporáneas que se reflejan en las condiciones del río Chiquito. Por un lado, la parte alta sufre una fuerte amenaza sobre los ecosistemas debido, en primera instancia, a procesos históricos vinculados a la deforestación para la extracción de madera e instalación de zonas agrícolas, y actualmente, al cambio de uso de suelo producto de presiones por expandir la zona urbana; deforestación que se refleja de algún modo en la gran erosión de la zona; descargas de agua residual de asentamientos humanos como nuevos desarrollos inmobiliarios y algunas comunidades rurales, lo que se traduce en disminución de la calidad y cantidad de agua. Por otro lado, en la parte baja, en la sección conocida como los “Filtro Viejos” es posible observar un

proceso de recuperación de la calidad del agua en el río por el estado de conservación de la naturaleza; sin embargo, cuando el río Chiquito ingresa a la ciudad de Morelia, se vierten en él grandes volúmenes de aguas residuales lo que provoca que el índice de calidad de agua se vuelva inaceptable (Sánchez, 2011).

Conociendo las condiciones generales en la microcuenca, resulta interesante analizar las relaciones entre los diferentes actores que, de acuerdo con la legislación actual, toman decisiones sobre la gestión del agua. Para ello, se empleó la metodología de Análisis de Redes Sociales (ARS), pues permite visualizar la estructura relacional entre actores, es decir, cómo se articulan para la toma de decisiones (Sanz, 2003; Monsalve, 2008; Aguirre, 2011). El ARS toma como punto de partida la premisa de que la vida social se crea, en primer lugar por las relaciones y los patrones formados por éstas. Las redes sociales se definen formalmente como un conjunto de nodos (o miembros de la red) que están vinculados por uno o más tipos de relaciones (Wasserman & Faust, 1994). Al tomar en consideración las relaciones sociales es necesario buscar la mejor manera de describir y explicar los fenómenos sociales de interés.

Para el presente análisis, se realizó una revisión documental del marco jurídico e instrumentos de planeación vigentes relacionados con la gestión del agua y manejo de la microcuenca del río Chiquito; con esta búsqueda se identificaron actores con atribuciones sobre el agua, así como, las relaciones entre actores encargados de la gestión; ello configura la base de datos utilizada para el ARS. Con base en las atribuciones se categorizaron las diferentes relaciones existentes de acuerdo al nivel de intercambio; es decir, las relaciones con menor peso se asignaron a aquellos actores cuya responsabilidad sólo se encaminaba a la colaboración voluntaria en una organización. En cambio, a las relaciones de colaboración más estrecha –como financiamiento, capacitación, asistencia técnica- se les determinó un mayor peso en la relación. Finalmente, se empleó el software *Gephi* 0.8.2 (gephi.org, 2008) para el análisis de distintas propiedades que emanan de la configuración de la red como grado, intermediación, centralidad, proximidad, entre otros.

### 3 RESULTADOS

Se identificaron 18 actores que tienen atribuciones sobre la gestión del agua y las cuencas. De ellos, siete son municipales, cuatro estatales, dos regionales y cinco nacionales. Esto se debe principalmente a que de acuerdo con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (artículo 115°), el gobierno municipal tiene la obligación de proveer los servicios de agua potable, saneamiento y alcantarillado. En la tabla 1 se desglosan en las unidades técnicas o administrativas las cuales, de acuerdo a reglamentos internos de cada institución y normatividad vigente, tienen relaciones estrechas con otros actores para tomar decisiones sobre la gestión del agua.

**Tabla 6 Actores con atribuciones directas sobre la gestión del agua y las cuencas**

Municipal	Estatal	Regional	Nacional
OOAPAS	CEAC	Comisión de Cuenca del Lago de Cuitzeo	CONAGUA
Junta de Gobierno OOAPAS	Sd de operación (CEAC)	Asamblea general de usuarios CCLC	Consejo técnico (CONAGUA)
Consejo Consultivo OOAPAS	Sd de Gestión de Cuencas (CEAC)	Comité Directivo CCLC	Consejo Consultivo del Agua CONAGUA
Director OOAPAS	Consejo Consultivo (CEAC)	Comisión de Operación y Vigilancia CCLC	IMTA
Comisario OOAPAS	RP uso público urbano del agua	Gerencia Operativa CCLC	SEMARNAT
H. Ayuntamiento	RP uso pecuario del agua	Vocales usuarios	PROFEPA
Presidente municipal	RP uso agrícola del agua	Vocales gubernamentales	CONAFOR
Comisión de Ecología	RP uso ambiental del agua	Asamblea de representantes de usuarios	
Consejo Municipal de Ecología	RP uso industrial	Grupos técnicos de trabajo	
Instituto Municipal de Planeación	PROAM	Organismo de cuenca Lerma-Santiago	
Sec de Desarrollo Metropolitano e Infraestructura	COEEO		
	Secretaría de Desarrollo Agropecuario		



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

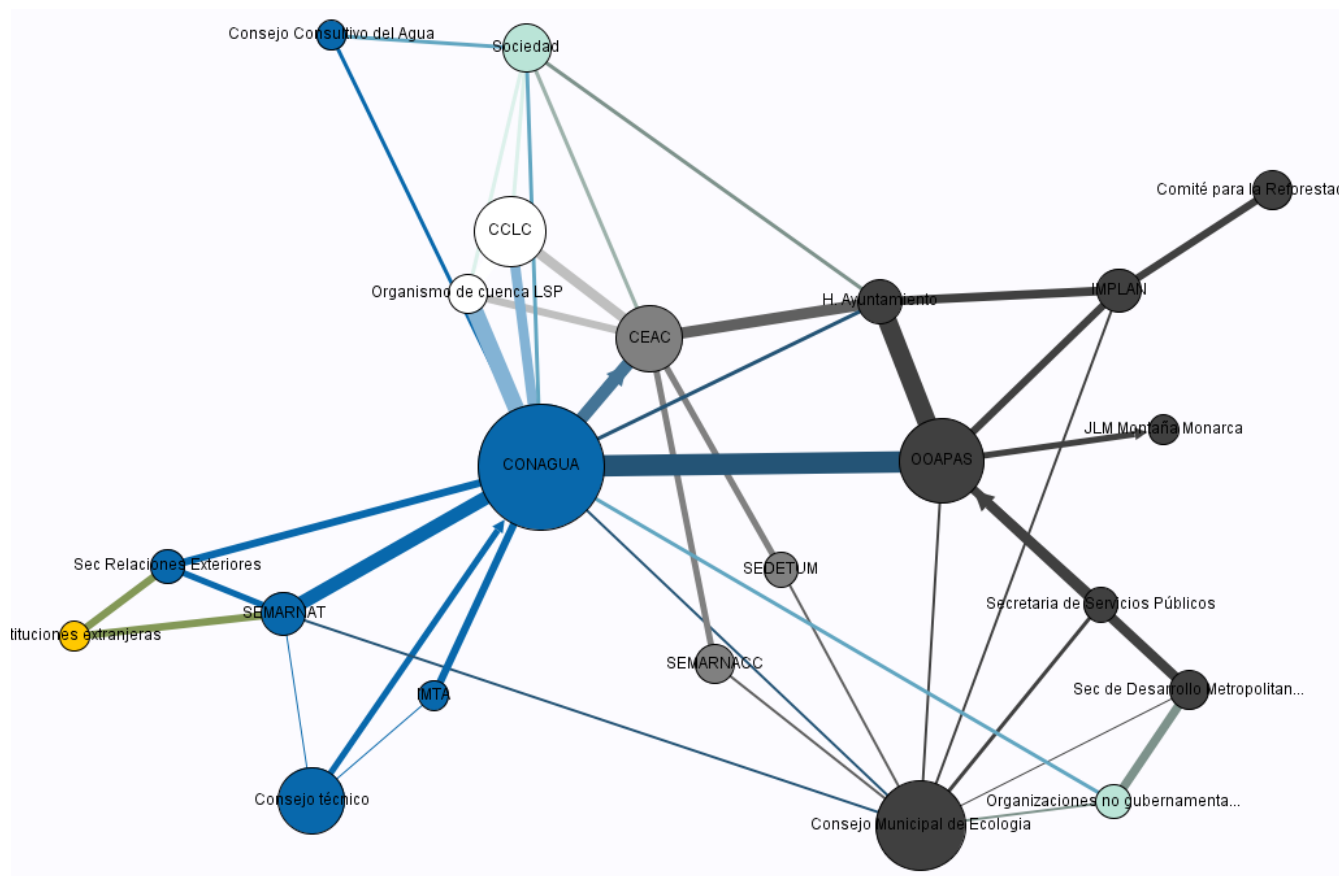
2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Con la revisión de normatividad logramos detectar que estos 18 actores tenían relaciones de algún tipo con otros para la toma de decisiones relacionada con la gestión del agua y las cuencas. Cabe destacar que no existe algún actor que sólo actúe en la microcuenca del río Chiquito, sino que la escala de operación mínima es el municipio, a excepción de la Junta Local Municipal de Montaña Monarca, la cual sólo tiene incidencia en la localidad del mismo nombre.

Los actores que operan y tienen atribuciones explícitas para la gestión del agua son: a nivel federal la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), a nivel estatal la Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas de Michoacán (CEAC) y a nivel municipal el Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OOAPAS), que en conjunto con las juntas municipales, en este caso la Junta Local de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la Localidad de Montaña Monarca, son los órganos facultados para la prestación de servicios en materia de agua.

En la Figura 2 podemos observar cómo se estructuran los actores con atribuciones sobre la gestión del agua de acuerdo con la normatividad vigente. De color azul se identifican los actores a nivel nacional; de gris a nivel estatal; de negro, municipal. Asimismo, se vincularon actores con atribuciones a nivel regional, como los organismos de cuenca (en este caso Lerma-Santiago Pacífico) y las Comisiones de cuenca como la del Lago de Cuitzeo; estos se muestran en color blanco. Por otro lado, la ley estipula la promoción de la participación social por medio de diferentes mecanismos, tales como el Sistema de Planeación Democrática o los consejos y comisiones de cuenca, por mencionar algunos; en el grafo se muestran de color verde. Finalmente, en amarillo se visualizan instituciones extranjeras relacionadas con otras organizaciones del país.

En esta red, se lograron identificar 63 actores con 93 relaciones. Sin embargo, para la presentación del grafo se filtraron aquellos que sólo tenían un vínculo con otro actor. Se observa que las relaciones más sólidas son entre las organizaciones municipales; ello se explica por el Bando Municipal, donde se explicita la colaboración entre secretarías y departamentos para el cumplimiento de las obligaciones del ayuntamiento.



**Figura 11 Red de actores con atribuciones y decisiones sobre la gestión del agua**

Destaca el actor central por su posición en la red –CONAGUA- quien tiene estrecha relación con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con quien se coordina para promover y propiciar la investigación científica, desarrollo tecnológico y generación de conocimientos en materia de gestión de los recursos hídricos.

La relación más estrecha que se puede apreciar en la red es entre OOAPAS y CONAGUA, el peso de su relación es debido al aporte de recursos financieros de la Comisión al Organismo. El OOAPAS es un organismo que recibe financiamiento de CONAGUA directamente y también del Ayuntamiento - específicamente de la Tesorería Municipal- quienes otorgan recursos económicos para el cumplimiento de sus atribuciones en la prestación del servicio público de abastecimiento de agua potable y saneamiento.

Se observa del lado izquierdo que se agrupan la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Relaciones Exteriores (SER) que tienen vínculos con instituciones extranjeras, ambos actores fungen como intermediarios para que dichas instituciones colaboren con CONAGUA. La SEMARNAT es quien debe promover la cooperación técnica, científica y administrativa en materia de recursos hídricos y su gestión integrada con instituciones extranjeras y debe instrumentar los lineamientos y estrategias para el cumplimiento de los tratados internacionales en materia de aguas. A nivel estatal observamos que la CEAC, a pesar de tener atribuciones directas de gestión de agua, no está vinculada directamente a OOAPAS pero se encarga de prestar asesoría técnica en materia de prestación de servicios públicos al H. Ayuntamiento de Morelia que funge como actor intermediario entre CEAC y OOAPAS. Por otro lado, los vínculos entre la CEAC y CONAGUA tienen un alto peso, pero es una relación menos estrecha



que la establecida con OOAPAS, sus relaciones son de coordinación para elaborar de estudios y proveer asistencia técnica en la dirección de políticas hídricas estatales.

Otro grupo que se identifica en la red son los actores que operan a escala regional como el Organismo de Cuenca Lerma Santiago-Pacífico y la Comisión de Cuenca del Lago de Cuitzeo (CCLC), todos ellos se vinculan con CONAGUA. Específicamente, el Organismo de Cuenca Lerma Santiago-Pacífico (LSP) en coordinación con la CONAGUA, promueven la participación de la sociedad en la planeación, toma de decisiones y ejecución de las políticas nacionales hídricas; esta coordinación incluye los tres órdenes de gobierno el nivel federal, estatal y municipal y también incluye a la CCLC y al Consejo Consultivo del Agua. La CCLC es la encargada de gestionar recursos y apoyos con otras instancias para salvaguardar los recursos presentes en este espacio; para cumplir su objetivo de promover la gestión integrada de los recursos hídricos de la Cuenca del Lago de Cuitzeo se encarga de la formulación, seguimiento, evaluación y modificación de acciones que fomenten la restauración, preservación y el aprovechamiento racional de todos los recursos naturales existentes, vinculándose directamente con CONAGUA para la operación de los servicios necesarios para cumplir su labor en la cuenca. La Comisión de Cuenca del Lago de Cuitzeo es un nodo central, el tamaño de éste se asocia a sus múltiples relaciones con otros actores en la red para promover conjuntamente con CEAC y el Consejo Consultivo del Agua la participación de la sociedad en la planeación, toma de decisiones, ejecución, evaluación y vigilancia de la política estatal hídrica.

A nivel municipal, el Consejo Municipal de Ecología es un actor que se vincula con muchos de los actores en la red; es una instancia donde se invita a la participación a actores como la SEMARNAT, CONAGUA, SEDETUM, SEMARNAC, Secretaría de Servicios Públicos, Secretaría de Desarrollo Metropolitano, IMPLAN, OOAPAS y también se invita a esta instancia a las organizaciones no gubernamentales. Sin embargo, esta participación es de carácter voluntario.

El OOAPAS debe garantizar el buen funcionamiento y la adecuada prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial, así como el servicio de tratamiento y reúso de aguas residuales en el Municipio de Morelia, Michoacán, asimismo emite las normas y procedimientos para la prestación de los servicios de agua potable y alcantarillado que son lineamientos para las Juntas Locales Municipales, ambos participan en la aplicación de la cuota tarifaria y aporta asistencia técnica.

El Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) es un órgano descentralizado del Ayuntamiento que actúa como intermediario, entre instituciones como OOAPAS y el Comité para la Reforestación de la Microcuenca del río Chiquito. Tiene atribuciones para asesorar al Ayuntamiento y para la instrumentación de normas en materia de planeación municipal. También se coordina con instituciones como el OOAPAS y la Secretaría de Desarrollo Metropolitano e Infraestructura para el desarrollo del Sistema de Información Geográfica y Estadística. La Secretaría de Desarrollo Metropolitano e Infraestructura tiene como atribución proponer convenios así como la formulación y ejecución de proyectos con organizaciones no gubernamentales ya sean de investigación o educativas con el fin de prevenir, controlar y revertir el deterioro ambiental del Municipio, es un vínculo directo con organizaciones no gubernamentales.

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

A partir de la revisión de normatividad y el análisis de redes sociales para los actores con atribuciones sobre la gestión del agua, es posible comenzar a pensar en aquellos retos para la planeación en materia de recursos hídricos. En esta investigación nos enfocamos en los actores gubernamentales, con atribuciones plasmadas en la ley; sin embargo, sabemos que para lograr una gestión integrada de agua es necesario sumar a todos los actores que comparten el espacio de la microcuenca.

Las instancias reconocidas por la Ley General de Aguas para la gestión del agua por cuenca son los Organismos de Cuenca, los Consejos de Cuenca y las Comisiones de Cuenca. Para el caso de la microcuenca



por su ubicación en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, las organizaciones involucradas a nivel de cuenca son el Organismo de cuenca Lerma-Santiago-Pacífico, el Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala y la Comisión de Cuenca del Lago de Cuitzeo. Sin embargo, a pesar de que están establecidas estas figuras jurídicas en materia de gestión de agua por cuencas, detectamos en primer lugar, que a nivel microcuenca, sólo se enuncia la figura de “comité” en la ley pero no existe para la del río Chiquito. De ese modo, es posible pensar que -a futuro- para solventar problemáticas en este espacio se consolide una estructura especializada para la gestión del agua que realmente tenga incidencia en la toma de decisiones.

Para dirigir la política de gestión de agua por cuenca, hay una estructura normativa que establece figuras jurídicas –mencionadas anteriormente- en materia de gestión de agua por cuenca, sin embargo, en el análisis realizado se muestran como periféricas a las decisiones en el río Chiquito. Se observa que hay un mayor peso en las relaciones que tiene la CONAGUA con el OOAPAS -que administra el agua a nivel municipal- que con las instancias que tienen atribuciones directas sobre la cuenca, incluso la CEAC que es un órgano del Estado de Michoacán tiene poca capacidad para operar recursos en estas figuras de cuenca. Con base en ello, es posible enunciar que la dependencia financiera de la CEAC con CONAGUA, dificulta la toma de decisiones y la implementación de proyectos por parte de esta dependencia.

Se ha detectado que en la estructura normativa en México, a pesar de involucrar la gestión del agua por cuenca, tiene poca incidencia en escalas pequeñas como la microcuenca. En nuestro caso, por ser parte de la subcuenca de Cuitzeo, la atención y las acciones se enfocan en la recuperación del Lago de Cuitzeo y principalmente se vinculan con actores aledaños a éste. Existe una visión de cuenca por parte de la Gerencia Operativa de la Comisión de Cuenca del Lago de Cuitzeo, es decir, conciben que en la parte alta se ubica la microcuenca del río Chiquito, sin embargo, la capacidad de acción en esta escala actualmente es incipiente. Por ello, es crucial para la planeación de la gestión del agua tomar en consideración las microcuencas y los actores que toman decisiones a este nivel, y de este modo, contribuir al saneamiento de los cuerpos de agua, la recuperación de la cobertura vegetal, la conservación de los suelos, la preservación de la biodiversidad, la promoción de la salud y buenas prácticas de manejo de agua, por enunciar algunas.

Los retos asociados al agua requieren de una mayor participación de la sociedad en instancias como los consejos de cuenca y otros espacios donde es convocada la sociedad en general, pues hay una clara necesidad de regular el acceso al agua para frenar el deterioro ambiental reconociendo la importancia de incorporar un criterio de cuenca para una mejor planificación uso y distribución del agua (Dourojeanni et al., 2002). Sin embargo, las experiencias recientes en materia de gestión integral del agua por cuencas carecen de adecuados canales de participación y no se han logrado construir instancias adecuadas de mediación, representación y participación de los distintos grupos sociales e institucionales; puesto que *“se continúa operando en el manejo de agua sin encontrar el proceso de gestión del agua con actores sociales claramente identificados, que promuevan el desarrollo sustentable del recursos agua”* (Vargas-Velázquez, 2003).

Este problema también se identifica en el Programa Nacional Hídrico 2014-2018, donde describen que *“la experiencia que ha dejado en el sector hídrico la creación, operación y restructuración de los consejos de cuenca, demuestra que la inclusión de los usuarios y la sociedad en la gestión del agua ha sido un proceso más lento de lo esperado y es necesario continuar los esfuerzos para romper paradigmas de paternalismo gubernamental, establecer sinergias interinstitucionales en materia de gestión integrada del agua y buscar soluciones que privilegien el bienestar colectivo”*

Una de las tareas importantes para la gestión del agua por cuencas ha sido lograr la madurez de los sistemas de administración del recursos hídrico (Cotler, 2007), en la gestión integrada del agua es conveniente tener un cuerpo especializado de la administración pública, que se encargue de la problemática del agua en el marco normativo y regulatorio en donde su función principal es establecer las reglas y hacerlas cumplir en los



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

distintos niveles y subniveles de gobierno, la organización institucional del agua debe implicar un mejor conocimiento de la disponibilidad y usos de ésta, que permitan contar con bases sólidas para la administración, planificación y gestión ordenada (Chávez, 2002). Además se debe reconocer como un proceso concurrente de actores sociales y gubernamentales, en distintos niveles de organización –local, regional, cuenca, nacional- en donde las reglas del juego deben garantizarse por la autoridad del agua para que existan mecanismos para la negociación de intereses, posiciones o expectativas sobre el manejo del agua (Vargas-Velázquez, 2003). Esta noción de involucrar actores sociales, más allá de lo que dispone la normatividad es fundamental para el mejor entendimiento de los procesos que suceden en la microcuenca, es por ello que la siguiente etapa de esta investigación abonará a la red de actores. Es decir, en el siguiente paso abordaremos la vinculación entre actores sociales y la relación con la normatividad y las instituciones gubernamentales. Todo ello para conseguir una planeación eficiente bajo el enfoque de manejo integral de cuencas en el municipio de Morelia

Para el caso del municipio de Morelia la gestión de cuencas es un enfoque que aporta distintas herramientas conceptuales para una adecuada planeación de la microcuenca del río Chiquito. Dourojeanni (2004) señala que para una buena planeación y generación de estrategias que enfrenten los efectos acumulativos de las intervenciones en la cuenca, que derivan en distintas problemáticas ambientales, se requiere de un enfoque integral de gestión de cuencas que permita incentivar la participación de los actores que toman decisiones e inciden en la cuenca, aunque no necesariamente tengan atribuciones sobre la gestión del recurso hídrico. Ante el reto de lidiar con la expansión urbana y los fenómenos de urbanización en el municipio donde la presión sobre los ecosistemas y especialmente sobre el recurso hídrico es mayor, resulta necesaria la planeación por cuencas en el municipio.

Para llevar a cabo esta planeación por cuencas se debe considerar que a pesar de la tendencia desde hace algunos años para organizarse por cuenca hidrográfica para atender problemas asociados a la distribución y administración del agua, los instrumentos existentes a escala municipal se relacionan superficialmente con la gestión del agua, no hay un programa hídrico para el municipio ni una planificación por cuenca. Se requieren de nuevas formas de relación entre distintos actores, el estado, la sociedad y la academia, las organizaciones no gubernamentales, las empresas internacionales y multinacionales (Dourojeanni et al., 2002, Vargas-Velázquez, 2003; Guerrero-de León 2010).

A manera de conclusión, es posible mencionar que al entender cómo la estructura normativa, con sus limitaciones, permite incidir en las condiciones del río para esbozar propuestas de planificación adecuada de estrategias y acciones que promuevan una mejor gestión del agua y que permitan atender las circunstancias generales en la microcuenca. El manejo integral de cuencas es el marco adecuado para una buena gestión del agua de su administración y los servicios de abastecimiento y saneamiento. Ante el reto de que implican los fenómenos de urbanización donde la presión sobre el recurso hídrico es mayor, se requieren de grandes esfuerzos en infraestructura, en su administración, abastecimiento y saneamiento en el municipio de Morelia, y se requiere de la planeación de estrategias adecuadas para gestión del agua, en un marco para gestión de la cuenca del río Chiquito.



## 5. AGRADECIMIENTOS

A Mtro. Pedro Cital por la confianza en este nuevo enfoque, Ing. Enoc Villaseñor por su apoyo, comentarios, aportes y elaboración cartográfica; a C. César Ramírez, por el apoyo en la elaboración de cartografía; a C. Lourdes García y LIN. Julieta Leal por la revisión de normatividad; a GI. Jaime Loya, Urb. Daniel de la Peña por sus comentarios y aportaciones; a todo el taller creativo del equipo técnico del Instituto Municipal de Planeación de Morelia.

## 6. LITERATURA CITADA

- Ávila, P., Campos, V., Tripp, M., & Varela, M. (2012). El papel del Estado en la gestión urbano-ambiental: el caso de la desregulación en la ciudad de Morelia, Michoacán
- Barkin, D. (2005). La gestión del agua Urbana en México. In *Por un modelo público de agua: triunfos luchas y sueños*. Transnational Institute (TNI) & Corporate Europe Observatory (CEO).
- Chávez, G. (2002). Organización Institucional para la gestión del agua en México. En *Agua, cultura y sociedad en México* (pp. 209–214).
- CONAGUA (2014) Programa Nacional Hídrico 2014-2018. México. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cotler, H. (2007). *El manejo integral de cuencas en México*. Instituto Nacional de Ecología (Vol. 2). México D.F.
- Cotler, H., Galindo, A., González, I., Pineda, R. F., & Ríos, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. SEMARNAT.
- Díaz, C., Esteller, M. V., & Ba, K. M. (2003). Problemática de la formación de recursos humanos en México en el área de las ciencias del agua. In *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI*
- DOF, D. O. de la F. LEY DE AGUAS NACIONALES.
- Dourojeanni, A. (2004). Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas, ¿por qué no lo podemos hacer? . In *El manejo integral de cuencas en México*. Instituto Nacional de Ecología. México D.F
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (2001). *Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua*.
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (2002). *Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos*.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. Santiago de Chile.
- Gephi.org. (2008). Gephi (0.8.2) [software].
- INEGI. (2010). *Datos vectoriales de red hidrográfica 2.0*.
- INEGI. (2014). *Datos vectoriales de Marco geoestadístico nacional versión 6.2*.
- INEGI. (2015). *Datos vectoriales de topografía escala 1:50 000 serie III*.
- INEGI. (2016). *Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0*.
- Ley de Aguas Nacionales (1992). México: Diario Oficial de la Federación.
- Lienert, J., Schnetzer, F., & Ingold, K. (2013). Stakeholder analysis combined with social network analysis provides fine-grained insights into water infrastructure planning processes. *Journal of Environmental Management*, 125, 134–148. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.052>



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Mendoza, M., & et.al. (2006). Regionalización hidrológica y cambio de cobertura vegetal y uso del suelo dentro de la cuenca de Cuitzeo. Bases para la planeación de los recursos hídricos en cuencas pobremente aforadas. Informe técnico final presentado al fondo mixto CONACyT-Estado de M. UNAM/Unidad Académica, IG, Morelia, México.
- Medina, C. (2010). Biodiversidad de la cuenca del río Chiquito, Morelia, Michoacán México. In *Memoria del foro de análisis de la loma de santa maría* (pp. 40–48).
- Monsalve, M. (2008). Análisis De Redes Sociales. Bits de Ciencia, (2), 1-6
- RDWA. (2015). What is Watershed Management? Retrieved August 1, 2016, from <http://www.rdrwa.ca/>
- Sánchez, H. U. (2011). *Calidad de agua y contexto social como base para la planeación y gestión en cuencas periurbanas. El caso del río Chiquito, Michoacán*. Universidad Autónoma de México.
- Sanz, M. L. (2003). Análisis de redes sociales: o cómo representar las estructuras sociales subyacentes. *Apuntes de Ciencia Y Tecnología*, 7, 10. <http://doi.org/10.1007/s10588-006-7084-x>
- SEMARNAT (2005). Compendio de estadísticas ambientales 2005, SEMARNAT, México. Disponible en: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/sitio\\_wf/Reportes/D3\\_AGUA/D3\\_AGUA05/D3\\_R\\_AGUA05\\_01.htm](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/sitio_wf/Reportes/D3_AGUA/D3_AGUA05/D3_R_AGUA05_01.htm) (julio, 2011)
- Urquijo, P. S., & Sánchez, H. U. (2012). La expansión urbana en el suroriente de Morelia.
- Vargas-Velázquez, S. (2003). Política del agua y participación social: del modelo centralizado al modelo de gestión integral por cuenca. In *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI*
- Vargas-Velázquez, S., Soares, D., Perez, O., & Ramírez, A. I. (2009). *La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas*. Guadalajara, Jalisco. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Extenso ID: 61. Úrsula Oswald Spring. MANEJO PARTICIPATIVO DE LA CUENCA DEL RÍO YAUTEPEC

[Regresar al índice](#)

#### Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM-UNAM)

**RESUMEN:** Ante varios desastres cada año en la cuenca del río Yautepec (CRY), afectados, comerciantes, ejidatarios, académicos y los tres niveles del gobierno elaboraron un diagnóstico participativo para recuperar de manera sustentable la cuenca. Las avenidas torrenciales inician en las nieves del Popocatepetl y a sólo 27 km bajan a 1,200msnm, lo que representa una amenaza elevada al municipio de Yautepec y las comunidades cuenca abajo. El riesgo se agrava en la CRY por la invasión de casas, negocios y bardas, sistemas de riego y la descarga de desechos sólidos y líquidos. La deforestación masiva en los altos, los cambios en el uso del suelo y las actividades agroproductivas han agravado la doble vulnerabilidad: la ambiental y la social de la población. A raíz de las inundaciones y sequías periódicas se ha desarrollado entre los actores un mapa didáctico que sistematiza actividades de corto, mediano y largo plazo y especifica responsabilidades concretas para cada sector. Incluye la reforestación masiva en los Altos, la consolidación del talud, un canal de desfogue, la limpieza de los afluentes, el desazolve de las presas derivadoras, la construcción de colectores, la rehabilitación de plantas de tratamiento, agricultura orgánica y educación ambiental. Al apoyar en escuelas y talleres la resiliencia entre la población afectada por desastres, se reducen los riesgos de perder la vida y el patrimonio. La constitución del Comité de la CRY ha creado bases legales y financieras para recuperar ordenadamente la CRY, donde campesinos, ciudadanos, académicos, empresarios y autoridades constituyeron además un Comité Ejecutivo. Éste vigila los avances acordados y negocia pacíficamente las diferencias entre tres entidades federativas, 18 municipios y múltiples actores, con el fin de elaborar acuerdos consensuados, lo que mejora la calidad de la obra pública y la gobernanza regional.

**PALABRAS CLAVES:** manejo participativo, comité de cuenca, desastre, gobernanza, negociación de conflictos

#### 1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVO, METODOLOGÍA Y CONCEPTOS UTILIZADOS

México es un país severamente impactado por el cambio climático por ubicarse entre dos océanos que se están calentando (IPCC, 2013). El estado de Morelos se localiza en el centro del país entre la cadena volcánica y la Sierra Madre Sur, con valles muy fértiles y suelos profundos gracias a la erosión de los volcanes entre las dos cadenas montañosa. Su orografía es compleja por las dos Sierras Madres y el eje que lo hace propicio a deslizamientos de tierra que se agravan por la deforestación de las laderas abruptas. Esta configuración orográfica dotó al estado de climas diversas y dos ecosistemas dominantes, el bosque de pino-encinos en los Altos y la selva baja caducifolia en los valles centrales y la Sierra Madre. Además, las cadenas montañosas retienen las nubes y ofrecen a la región semi-árida precipitaciones suficientes para que desde tiempos inmemoriales, la región de Morelos fue habitado por indígenas. Habían desarrollado en la antigüedad uno de los sistemas de riego más sofisticado en América, que permitía varios cultivos al año (Mentz, 2008; Maldonado, 1984). Asimismo, en Oaxtepec existía un vivero de plantas medicinales, único en el mundo de entonces (Maldonado et al., 2004), cuyos principio activos fueron sistematizados en el Códice de Cruz Badiano (1552). Al llegar este conocimiento a España, transformó la farmacología tradicional en el viejo mundo. Esta riqueza natural atrajo importantes poblaciones y la tierra fértil se convirtió en uno de los centros de innovación en la producción de la caña de azúcar en el mundo (Crespo, 2010). Esta riqueza agrícola



transformó al estado también en protagonista de la historia de independencia, de la revolución y de múltiples movimientos sociales que duran hasta el día de hoy (Sarmiento, 1997).

## 1.1 Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es mostrar en el caso concreto de una cuenca afectada por inundaciones, sequías, incendios forestales y deslizamientos de tierras cómo mediante la planeación y capacitación participativa se pueden reducir los riesgos y crear mayor resiliencia entre la población expuesta. La constitución del Comité de la Cuenca del Río Yautepec integró afectados, campesinos, comerciantes, autoridades y académicos y permitió elaborar un mapa didáctico que sirvió posteriormente en reuniones formales, escuelas y mercados para promover mayor conciencia para participar en el cuidado ambiental y de prevención de desastres.

## 1.2 Metodología

La metodología utilizada durante el trabajo de campo se llevó a cabo en tres fases que abarcaron casi tres años de trabajo de campo y el involucramiento de la ciudadanía. Combinó métodos cuantitativos, cualitativos de promoción y de educación. En la parte cuantitativa, se aplicó una encuesta a una muestra seleccionada al azar (tabla 1) de 4,370 personas, donde se estudiaron los procesos demográficos, familiares, productivos, ingresos, migración, de salud, educación, percepción de riesgo, comportamientos después del desastre y acciones de resiliencia (Oswald et al., 2014). La parte cualitativa incluyó entrevistas en profundidad a líderes locales, autoridades, protección civil y familias afectadas por inundaciones, sequías, incendios forestales o deslizamientos de tierras. Entre las víctimas de un desastre se hicieron grupos focales, se elaboraron mapas de riesgos locales y se constituyó el Comité de la Cuenca del Río Yautepec (CCRY). Este comité sintetizó la información y elaboró participativamente un mapa didáctico entre afectados, autoridades de los tres niveles, campesinos, indígenas y académicos. Este mapa sirvió posteriormente en la capacitación de los niños en las escuelas, con el fin de crear entre la juventud mayor conciencia de los riesgos y explicar las causas socio-ambientales de un desastre. Asimismo, este mapa se colocó en mercados, presidencias municipales, ejidos y hogares para apoyar la resiliencia entre la población expuesta.

**Tabla 1:** Encuesta aplicada a una muestra al azar en toda la CRY. **Fuente:** Investigación

Fases de encuestas	Personas	Familias	Porcentaje de mujeres
Primera fase	1,440	385	49%
Segunda fase	2,515	634	51%
Tercera fase	415	100	57%
Total	4,370	1,119	51%

## 1.1 Conceptos utilizados

En este estudio se analizarán el cambio ambiental global, el climático, los riesgos por estos fenómenos, así como la doble vulnerabilidad, que puede limitar los procesos de adaptación y de resiliencia entre la población afectada, así como sus mecanismos de gobernanza participativa.

**Cambio ambiental global:** es más que el cambio climático, ya que incluye la interacción entre los factores naturales y los humanos. Contiene la contaminación del agua, aire, suelo y la destrucción de la biodiversidad que agravan los desastres por inundaciones y sequías, pero también por deslizamientos de tierras. Del lado social, las amenazas mayores son la pérdida de los servicios ecosistémicos por tala clandestina y deforestación, el cambio del uso de suelo forestal a agrícola y urbano, la falta de agua potable y aire que afecta la salud humana y las condiciones de pobreza, marginalidad y discriminación con falta de empleos dignos e ingresos.

**Cambio climático:** se origina por las emisiones de los gases de efecto invernaderos (GEI) que calientan el aire hasta la tropósfera. Pero aumenta también la temperatura en el mar, lo que genera mayor evaporación y

produce un efecto invernadero. Los glaciares en la montaña se funden al igual que los de Groenlandia y de la Antártida, lo que aumenta el nivel del mar. Además, el deshielo de la tundra suelta metano atrapado, uno de los GEI más poderoso. La mayor parte de los GEI son absorbidos por el mar, lo que genera una acidificación que afecta la vida marina y en especial, los arrecifes coralinos que son barreras protectoras ante huracanes y olas elevadas.

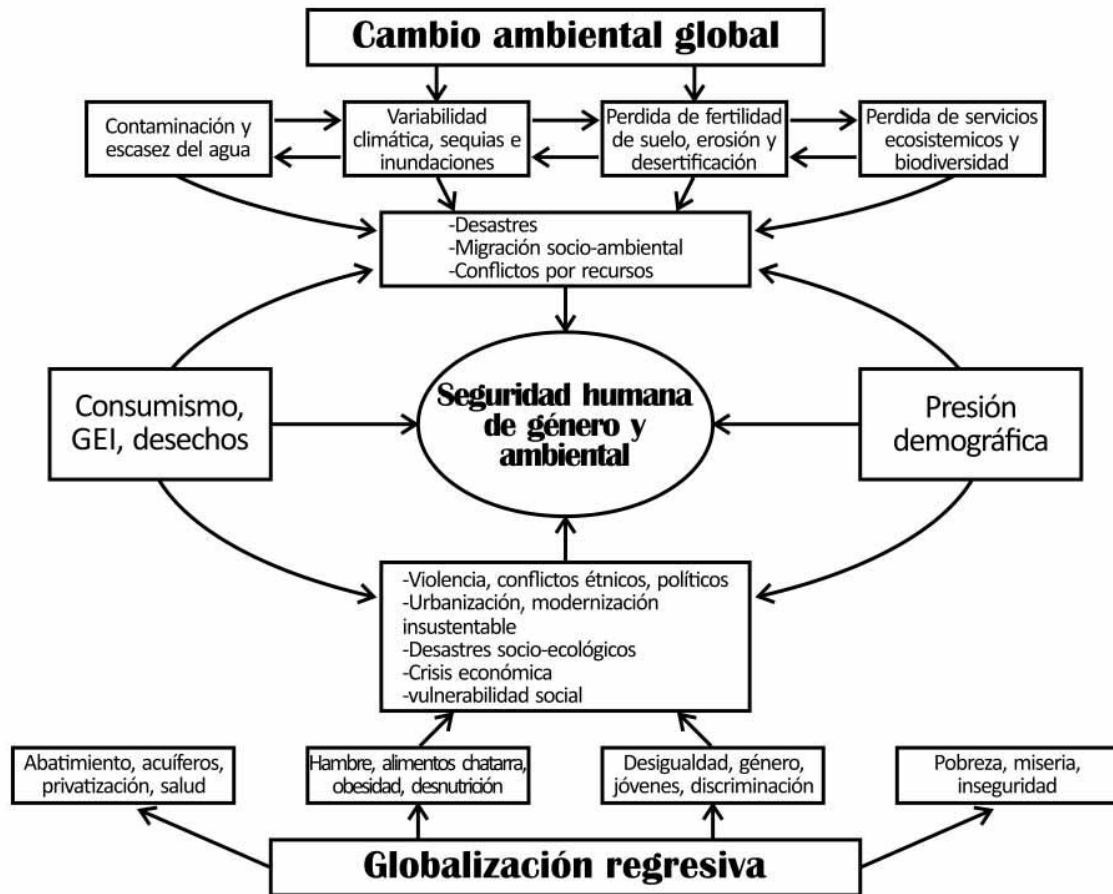
**Riesgo:** Se refiere a la posibilidad que eventos extremos pueden ocurrir, donde vidas y valores están en juego y donde el resultado es incierto. El riesgo depende de la probabilidad de la ocurrencia, de la fuerza del impacto y de la vulnerabilidad ambiental y social. Es resultado de la interacción entre vulnerabilidad, exposición, evento y capacidad para enfrentar un evento extremo. Los riesgos en la CRY (gráfica 1) son elevados por una combinación de la doble vulnerabilidad, la frecuencia de la exposición y factores socio-ambientales que multiplican los riesgos naturales existentes.

**Gráfica 1:** Riesgos en la CRY. **Fuente:** Autora



**Doble vulnerabilidad:** es resultado de la alteración de los factores naturales: agua, aire, suelo y biodiversidad, así como de los factores sociales, caracterizados por un entorno natural contaminado, pobreza, enfermedades, desigualdad de género y de jóvenes, así como falta de alimentos sanos y nutritivos (gráfica 2). La doble vulnerabilidad se agrava por desastres, migración, violencia, urbanización caótica, crisis económica, pero es también reforzado por el aumento de la población y un consumismo fincado en los desperdicios. Afecta la seguridad humana, la de género y la ambiental (Oswald, 2008).

**Gráfica 2:** Doble vulnerabilidad: ambiental y social. **Fuente:** Autora.



**Adaptación:** es la capacidad de enfrentar situaciones difíciles sin destruirse física, social y mentalmente. Depende de políticas y de cooperación entre ciudadanos, que pueden mejorar las respuestas ante eventos extremos y mejorar a la vez, el desarrollo social.

**Resiliencia:** es la capacidad de los sistemas sociales, económicos, culturales y ambientales para enfrentar un evento o perturbación peligrosa, de modo tal que se reorganiza la sociedad de modo tal que pueda mantener su funcionamiento más importante, pero también su economía e identidad. Durante un evento extremo los afectados aprenden mejorar su capacidad de adaptación, mediante el aprendizaje y la transformación.

**Gobernanza:** Thakur y Weiss (2010) incluyen “el conjunto de instituciones formales e informales, mecanismos, relaciones y procesos entre y dentro de los Estados, los mercados, los ciudadanos y las organizaciones, tanto inter como no-gubernamentales, mediante los cuales se articulan intereses colectivos en el plano global, se establecen obligaciones y derechos y se negocian diferencias”.

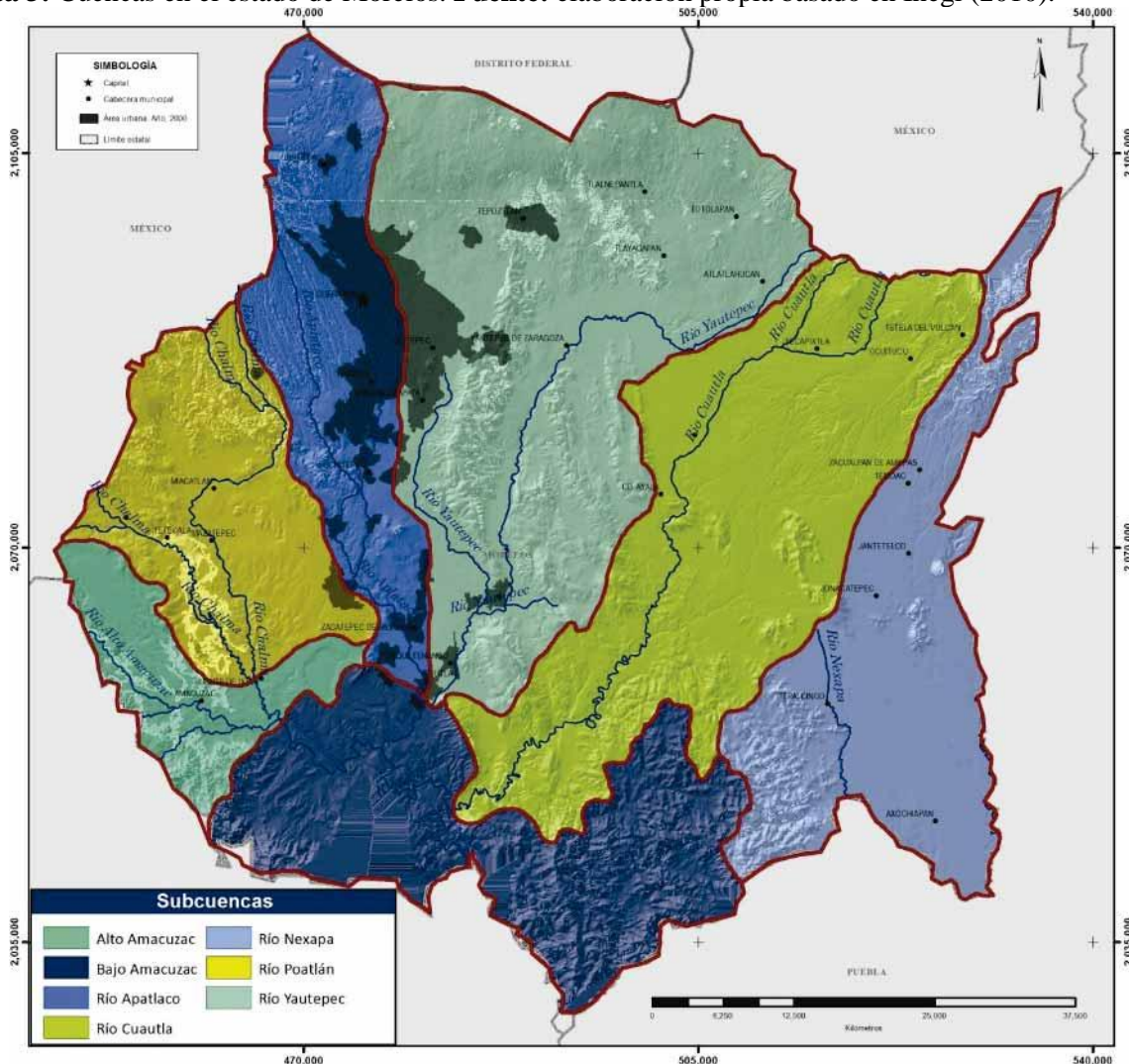
Con estos conceptos podemos ahora analizar los riesgos en la CRY aumentados por el cambio ambiental global y el cambio climático, ver la capacidad de adaptación de la población expuesta a condiciones cada vez menos favorables y la resiliencia ante eventos extremos que se presentan con mayor frecuencia. Además, se estudiará el avance de la gobernanza participativa para enfrentar colectivamente mejor estas condiciones adversas.



## 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y SOCIAL DE LA CUENCA DEL RÍO YAUTEPEC

La cuenca del río Yautepec (CRY) es la más grande en el estado de Morelos y la más compleja en cuanto al manejo por su diferencia altitudinal (gráfica 3). Inicia en las nieves del Popocatepetl a 5,426msnm y 27 km abajo está a 1,200msnm, lo que genera velocidades elevadas del agua que arrastran árboles, rocas y tierra a su paso. El área de la CRY se integra por 17 municipios de los cuales 14 se encuentran casi en su totalidad en esta cuenca. Se trata de cinco municipios del estado de México (Atlautla, el más conservado en cuanto a bosques, Juchitepec, Ozumba y Tepetitla). Incluye la parte sur de la delegación de Milpa Alta en la Ciudad de México y diez municipios en Morelos: Totolapan, Tlalnepantla, Tepoztlán, Tlayacapan, Atlatlahucan, Yautepec, Tlatizapan, Tlaquiltenango, Zacatepec y Jojutla.

**Gráfica 3:** Cuencas en el estado de Morelos. **Fuente:** elaboración propia basado en Inegi (2010).

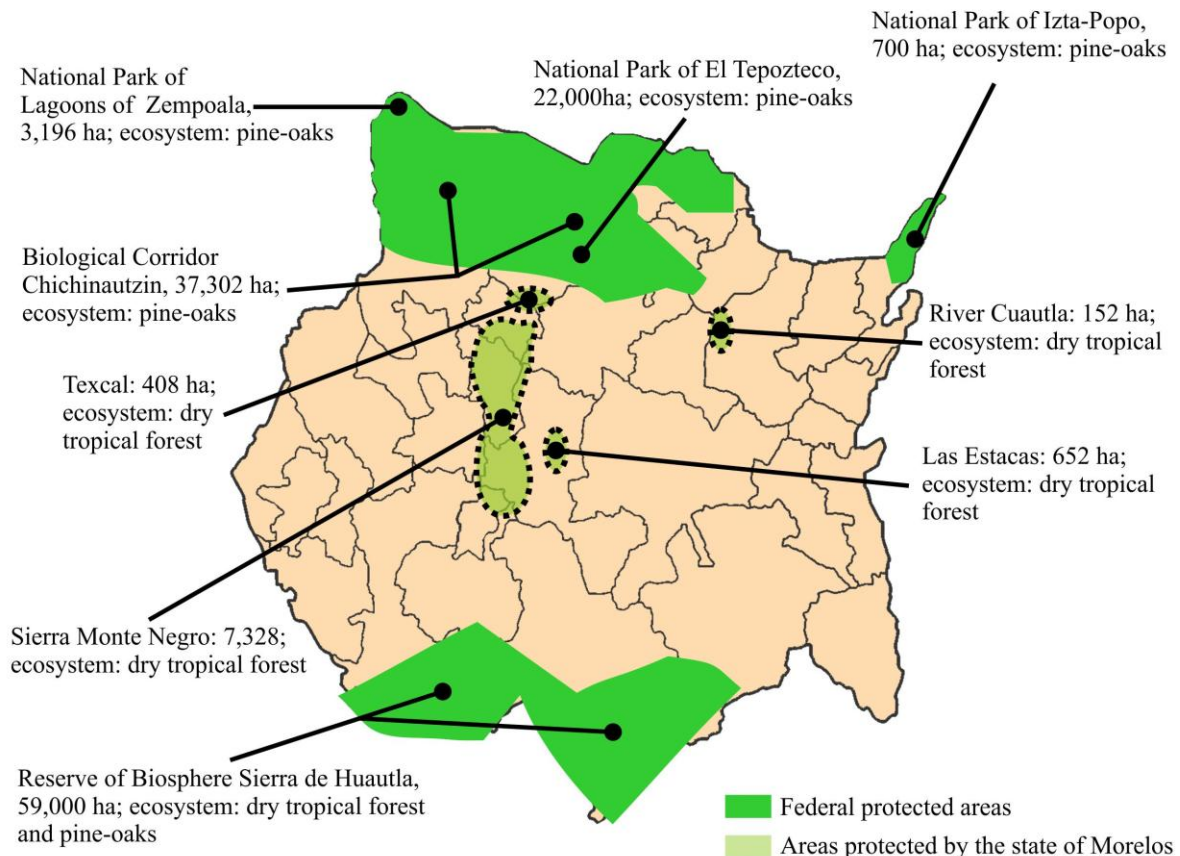


La CRY se divide en tres partes de acuerdo a su gradiente altitudinal. En el norte hay un ecosistema de pino-encino. La agricultura de temporal depende de la regularidad del monzón, aunque por el cambio climático se están alterando tanto el inicio de la época de lluvia como la sequía interestival (canícula). Esta zona de aguda

escasez de agua fuera del temporal. El centro cuenta con valles fértiles y suelos profundos, resultado de la erosión de los volcanes. El ecosistema original era de selva baja caducifolia, aunque las condiciones climáticas favorables y los suelos ricos fueron aprovechados desde tiempos prehispánicos por los labradores para la agricultura de riego. Los Xochimilcos habían desarrollado sistemas de riego para los cultivos del maíz, frijol y algodón (Maldonado, 1984; Mentz, 2004) y los conquistadores aprovecharon la infraestructura existente para transformar la región en un emporio de caña de azúcar (Crespo, 2010). Finalmente, la zona de la Sierra Madre Sur está cubierta por selva baja caducifolia y cuenta con suelos someros, tiene poca retención de agua y la población carece de agua durante la época seca. Los productores siembran sus cultivos de temporal básicamente para la subsistencia, dónde el frágil suelo lo permite y algunos afortunados producen en las orillas de los cauces jícamas.

La diversidad ecológica de la región, donde hay una sucesión de diferentes ecosistemas, llevó a las autoridades federales, estatales y municipales a declarar diversas áreas naturales protegidas (gráfica 4). En el norte, la CRY recibe sus afluentes por los parques nacionales Izta-Popo, El Tepozteco, Lagunas de Zempoala y el Corredor Biológico Chichinautzin. Las áreas naturales estatales son El Texcal y la Sierra Monte Negro que limita la CRY en la parte occidental, además de un área protegida particular, Las Estacas. La Sierra Madre Sur inició con un área estatal Sierra de Huautla que se ha integrado a la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, uno de los relictos mejor conservado de selva baja caducifolia.

**Gráfica 4:** Parques nacionales, estatales y privados en la CRY. **Fuente:** elaboración propia, diseñado por Miguel Ángel Paredes.





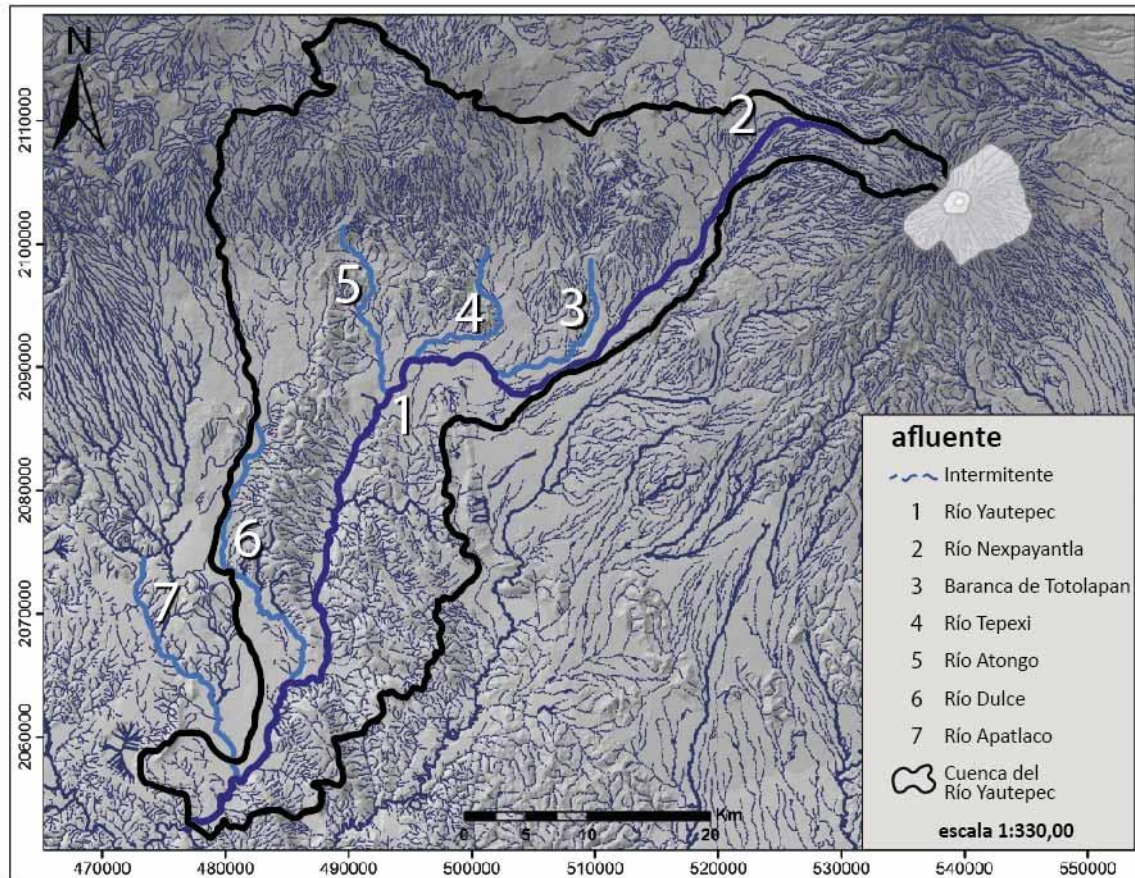


Los bosques en el estado de Morelos pertenecen en 78.3% a propiedad privada y social (Registro Agrario Nacional), sólo después de Baja California, Nayarit y Guerrero (Oswald/Jaramillo, 2012). Esta particularidad de la tenencia de las áreas forestales impone en el estado una vocación de conservación, donde se puede involucrar a los grupos sociales para un manejo sustentable de sus recursos naturales y conservar así los servicios ecosistémicos. Además, el agua proviene básicamente de los volcanes en los Altos que recargan también al acuífero de Yautepec-Cuautla, que se encuentra en equilibrio. No obstante, tanto en los Altos como en la Sierra de Huautla hay escasez de agua durante la temporada de estiaje. Además, en los valles fértiles, la vegetación original se ha eliminado y se ha sembrado durante más de 500 años caña de azúcar, recientemente también hortalizas, flores y forrajes. El uso intensivo del suelo ha provocado un severo deterioro ambiental y en los Altos existe tala clandestina, donde interviene también el crimen organizado. Lo mismo ocurre en la Sierra Madre, donde por lo accidentado del terreno se siembran además marihuana y amapola. En ambas zonas, los habitantes indígenas siguen cocinando sus alimentos básicamente con biomasa, lo que presiona aún más a los ecosistemas afectados. Por lo mismo, aparecen matorrales y zonas sin vegetación. Las imágenes de satélite muestran que la mitad de la superficie está ocupada por agricultura, 5.5% por pastos inducidos y 30% está cubierto con vegetación secundaria, además de los asentamientos urbanos en 2% que se siguen expandiendo sobre los campos de cultivo y han producido tres núcleos megapolitanos: Cuernavaca, Cuautla y Zacatepec.

### 3. Proceso de consolidación del Comité de Cuenca del Río Yautepec

El alto desnivel en la CRY y los múltiples afluentes (gráfica 5), casi todos erosionados y con cuencas deforestadas, representan peligros reiterativos para los habitantes en el valle, por las inundaciones periódicas y por las sequías en los Altos y la parte sur (Sierra de Huautla). La mayoría de los afluentes son intermitentes y durante el año la gente los utiliza como tiradero para desechos líquidos y sólidos. Cuando llegan las lluvias y especialmente, un huracán o depresión tropical, el agua arrastra esta basura hacia abajo, crea diques que se consolidan provisionalmente con árboles y otra vegetación. Cuando la presión y el peso del agua aumentan, se rompen estos diques improvisados y se inundan violentamente las ciudades en el valle. Además, nuestros estudios empíricos mostraron que un bosque denso con un suelo sano absorbe 72% de la precipitación en los Altos. La lluvia cae torrencialmente sobre los árboles, sus ramas y hojas reducen la velocidad del agua y facilitan que se infiltre suavemente en el subsuelo, donde recarga además al acuífero. Al contrario, suelos deforestados arrastran tierra, rocas y árboles hacia la cuenca y con la basura humana depositada en el lecho del río, las avenidas se convierten en peligros para la gente.

**Gráfica 5:** Afluentes en la CRY. **Fuente:** elaboración propia, diseñado por Joaquín Cartulina.



La CRY no sólo está expuesta a fenómenos hidrometeorológicos (inundaciones y sequías), sino en los municipios estudiados entre 34 y 51% de los entrevistados le teme a los temblores y en las faldas del volcán del Popocatepetl, entre 25.4 y 91.4% mencionan la erupción volcánica como una amenaza permanente. Otro 11 a 52% teme a los incendios forestales y entre 13 y 18% a los deslizamientos de tierra. En la planicie predomina la consciencia por inundaciones (entre 23 y 33%) y sólo 23.4% considera que no tiene miedo ante desastres socio-ambientales. En los valles, de los entrevistados, 85.9% mencionó haber sufrido alguna inundación, donde en 69.3% fueron dañados sus casas y enseres domésticos y otro 18.6% sufrió daños en la infraestructura y los servicios públicos de agua y drenaje, mientras que 12.1% adicional vio afectadas sus actividades económicas, comerciales y de servicios, especialmente los comerciantes en la cabecera municipal de Yautepec.

En la encuesta, la gente ha tomado consciencia que los desastres no sólo son naturales, sino que son también producidos o agravados por los humanos. En cuanto al deterioro ambiental, 51% de los entrevistados pensó que los recursos naturales fueron destruidos, 28% dice que fueron afectados, 17% los sitúa con poca repercusión y sólo 4% afirma que no ha habido destrucción ambiental alguna. En 37.5%, los deterioros se relacionan con los desechos sólidos en los ríos. Los ancianos recuerdan que antes no existían las inundaciones, pero ahora la cabecera municipal de Yautepec ha sufrido por inundaciones periódicas en 1985, 1998 y 2003. A partir de 2010, el río o la barranca de Apanquetzalco, que viene de El Tepozteco, han destruido cada año bienes y a veces, han inundado la cabecera varias veces al año. En 2010 se dieron dos inundaciones, una muy severa cuando el río creció en la entrada de la ciudad en 21 metros, en 2014 hubo cuatro inundaciones que obligaron a la población en zonas de riesgo a evacuarse, y hasta septiembre 2016, la barranca de Apanquetzalco ha salido dos veces fuera de su cauce, afectando sobre todo colonias de recién construcción.



Sobre su actividades después de un desastre, 22.2% participó en reuniones; 5.4% pidió una indemnización económica; 11.9% ayudó en la limpieza de ríos y bosques; 10.6% colaboró en la reforestación y 49.9% no hizo nada y esperaba que el gobierno resolviera los daños. La falta de colaboración es resultado de la política populista, donde la gente afectada espera que el gobierno resuelva la situación (Bazdresch y Levy, 1990). Cuando se preguntó a los afectados qué habían aprendido de los desastres, 59.9% informaba que se evacuaba preventivamente, 29.3% cuidaba más al ambiente, 10.3% participaba en prácticas de reducción de desastres y sólo 9.6% no había aprendido nada. Sin duda alguna, los comportamientos humanos durante un desastre ocurren de manera a veces contradictoria, pero se presentan simultáneamente en diferentes niveles y ayudan a la población a adquirir mayor resiliencia y a adaptarse a las condiciones menos favorables. Además, las actividades se ven influenciados por múltiples actores, donde la carga emocional fuerte bloquea a veces, a la gente para aprovechar sus capacidades adaptativas y actuar con mayor velocidad.

Cuando se averiguó en los cambios de los hábitos diarios, todos los entrevistados mencionaron que era necesario reducir y reciclar el agua, práctica relacionada con la falta del vital líquido en su vida diaria. Además, apagan la luz cuando salen de un cuarto, ya que la electricidad tiene un costo elevado. No saben que con ahorro de luz generan menos GEI y así contribuyen a reducir los impactos del cambio climático. Grin y Van de Graaf (1996), Grin y Loeber (2007) insisten durante una emergencia, la sorpresa o las visiones de otras personas facilitan un agudo proceso de aprendizaje, aunque a veces, los desastres también bloquean a la gente.

#### 4. AVANCES Y OBSTÁCULOS

La teoría de las representaciones sociales (Moscovici, 1973) indica que los cambios en la vida diaria se dan lentamente y con resistencias. Al preguntar a los encuestados acerca de sus condiciones de vida en la comunidad o colonia, 66% dijo estar altamente o satisfecho y además 54% está satisfecho con las condiciones de los servicios de salud. Por lo contrario, 35% dijo estar muy o insatisfecho con sus condiciones de vida y 46% también está insatisfecho con los servicios de salud. Esta polarización se puede relacionar con las condiciones de identidad en el hogar y con su comunidad. Al averiguar qué elementos los vinculaban con su colonia o pueblo, la mitad de los encuestados respondió que las tradiciones, después la naturaleza, mientras que las actividades económicas y los servicios públicos eran menos importantes (gráfica 6).

**Gráfica 6:** Valores en la CRY. **Fuente:** trabajo de campo.



Ante un desastre, sobre todo uno que afecta a la mayoría de la cuenca y causa daños severos, la población exige al gobierno una respuesta inmediata. Cuando en 2010, después de una inundación importante, se presentaron los primeros síntomas de corrupción por la entrega del Fonden (Fondo de Desastres Naturales) en los ayuntamientos y entre las autoridades estatales y federales, las comunidades empezaron a protestar. Se dio un inicio de organización entre los afectados y cuando se revisaron los costos para reparar los daños por parte de académicos y empresarios solidarios, se pudieron con los ahorros alcanzados avanzar en obras adicionales de protección. La población obtuvo confianza en sus acciones y se constituyó un comité de seguimiento. La Conagua se vio presionada y propuso la organización formal del Comité de la Cuenca del Río Yautepec (CCRY). El aporte interdisciplinario a las soluciones propuestas mostraba que el tema era complejo. Incluía



reforestación, protección de márgenes de los cauces, reubicación de población expuesta, eliminación de invasiones en el lecho del río, rehabilitación de plantas de tratamiento y alcantarillado, así como manejo alternativo de los desechos sólidos por parte de los municipios.

Las encuestas llevadas a cabo en toda la cuenca y la sistematización de la información existente en bancos de datos en las dependencias gubernamentales, facilitaron conocer a fondo la situación socioeconómica y ambiental de los 17 municipios, ubicados en tres entidades diferentes. Entre autoridades, afectados, empresarios, comerciantes y académicos se trabajó en un plan integral de manejo. Mediante trabajos en escuelas, mercados comisariados ejidales, autoridades de los tres niveles y población afectada, se gestó paulatinamente un plan de trabajo de corto, mediano y largo plazo, donde el CCRY constituido legalmente sería la instancia para priorizar las inversiones y vigilar su ejecución. Los datos de la encuesta se sistematizaron en un mapa que obtuvo difusión masiva (gráfica 7).

**Gráfica 7:** Mapa de manejo integral de la cuenca del río Yautepec. **Fuente:** Autora y grupo de investigación.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

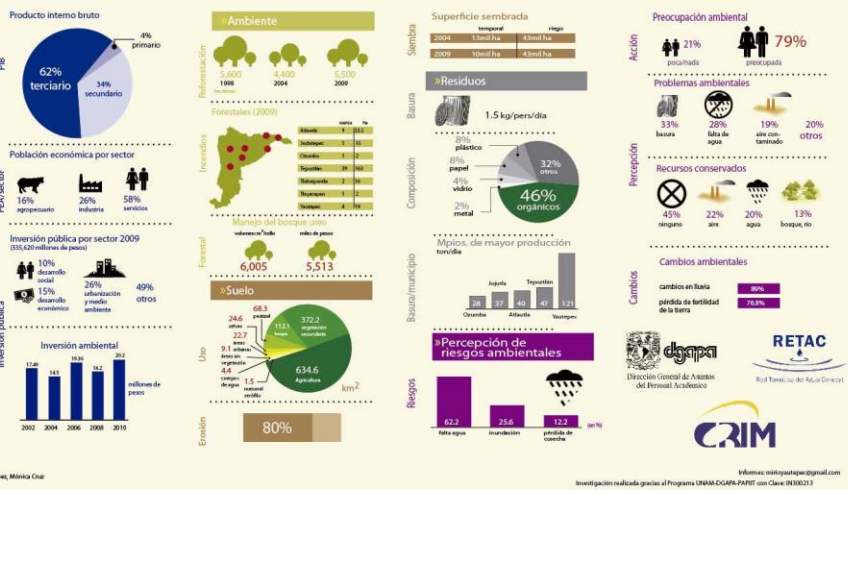
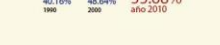
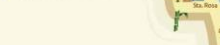
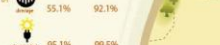
2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

## Mi Río Yautepec

Niños, niñas y adultos de 13 municipios de los estados de Morelos y México construimos el futuro de nuestro río para hacer de este pequeño territorio un lugar seguro de trabajo, educación, agua limpia, bosques y selvas.

2 Pueblos Mágicos

### Población





No obstante, en esta fase se presentaron también varios obstáculos. Desde los ejidos hubo oposición para formar la Asociación de Riego de la CRY, ya que algunos ejidatarios se habían tomado mayores cuotas de riego, otros querían la presidencia y otros se quejaban de la contaminación del agua. Se logró rehabilitar en Yautepec el sistema de agua potable, el alcantarillado y la planta de tratamiento, aunque el presidente municipal se quejó después de los altos costos de la energía eléctrica. En el mercado se inició la separación de la basura, pero el camión de recolección municipal la mezclaba otra vez y el ayuntamiento no compró la maquinaria para triturar los desechos orgánicos e iniciar la composta. El ejido inició un programa de reforestación local en los potreros para dar sombra y alimentos a los animales con las cercas vivas.

La reforestación en los Altos no se llevó a cabo por resistencia de las autoridades estatales y la falta de cooperación entre las tres entidades. Además, el crimen organizado amenazaba a los encargados. El primer año se logró a desazolver las presas derivadoras y se redujo en 2011 el impacto de las inundaciones, que se dieron por obras efectuadas por Conagua. No obstante, las presas se azolvieron rápidamente. En la presa Nexpa, la de mayor capacidad de regulación hubo en 2012 un azolve de 5m por año. Se trata de tierra de alta calidad con 60% de contenido de nitrógeno, arrastrada desde las zonas altas. Conagua puso obstáculos para diseñar el proyecto ejecutivo del canal de desfogue, ya que había que interrumpir el flujo de 4 carriles de la carretera federal entre San Carlos y Cuautla a la altura de la toma 3. Al contrario, propusieron la construcción de nuevas presas derivadoras, pero la gente se dio cuenta que en el mediano plazo éstas no iban a resolver el problema de las inundaciones. Las personas involucradas en el CCRY se desanimaron ante los obstáculos y con el cambio de los tres niveles de gobierno en 2012, se redujeron las actividades, hasta que en 2016 se presentaron dos inundaciones importantes con serias afectaciones en colonia populares.

## **5. CONCLUSIÓN: UNA GOBERNANZA PARTICIPATIVA EN LA CUENCA**

La participación de la ciudadanía en el CCRY se ha transformado de lo espontáneo hacia lo institucional, donde se aceptaba el derecho de petición en los raros eventos convocados por Conagua. Se aprovecharon los trabajos gratuitos de empresas privadas y académicos para contar con un diagnóstico integral, pero las dependencias de los tres niveles han sistemáticamente bloqueado el derecho a la información oportuna para toda la población y han impedido la constitución de una contraloría social que debería supervisar las obras. Después de la emergencia, en los trabajos de reconstrucción los ciudadanos conocían los costos reales de las obras y se pudo limitar el mal uso del dinero. No obstante, intereses caciquiles gubernamentales, privados y ejidales y una promoción clientelar restó importancia y fuerza al CCRY. Siguen canales abiertos de comunicación, pero la continuidad orgánica y participativa está en riesgo, si no se cambien las prácticas arraigadas locales, estatales y federales y se rompan los viejos estilos de ejercer el poder y controlar los recursos financieros.

Ello significa transformar la arena de vulnerabilidad hacia una arena de gestión que promueva el bienestar colectivo y no la apropiación personal de una élite (gráfica 8). Incluye transformar el carácter deslegitimado de las autoridades federales (Conagua), estatales y municipales, pero también de las autoridades ejidales y su tráfico de tierras, gracias al cambio del uso de suelo agrícola hacia casas de fin de semana. Este cambio de arena, en un contexto nacional de grave deterioro de la legitimidad gubernamental, la mayor en toda América Latina (Latinobarómetro, 2015), es difícil alcanzarse y los obstáculos puestos en la Ley de Transparencia y la iniciativa de Ley 3 de 3 muestra lo profundamente arraigado de la corrupción en el gobierno tanto ejecutivo, judicial como legislativo.

**Gráfica 8: Gobernanza en la CRY. Fuente:** Autora.



Por lo tanto habrá que cambiar desde lo local, donde los intereses creados y afianzados impiden también hacer cambios en las agendas, pero más aún en los actores. Se sigue reproduciendo la doble vulnerabilidad y los riesgos aumentan, al no tomar en cuenta una agenda que permitiría combatir el crimen organizado en la tala y recuperar con el apoyo de la población -que busca desesperadamente trabajo bien remunerado- los servicios ecosistémicos en las áreas boscosas de los Altos.

Finalmente, falta cambiar también las actividades de depredación y destrucción ambiental hacia actividades sustentables. En este caso hay mucho interés en colaborar por parte de la población expuesta y los reiterativos desastres han sensibilizado a la gente para involucrarse más activamente en el proceso. No obstante, falta implicar más a las autoridades quienes hablan de consejos ciudadanos, pero toman las decisiones importantes en lo oscuro. Publican acuerdos, aunque los vocales ejecutivos del Consejo de Cuenca se hayan opuestos en su mayoría, y la organización burocrática de los cuerpos ciudadanos impide avanzar hacia una mayor participación. Además, Conagua se queja que no cuenta con el personal suficiente para la vigilancia e implementar los acuerdos tomados.

El proceso de insuficiente gobernanza participativa no sólo se presenta en la CRY, sino es un fenómeno global que rebasa a México e involucra al mundo entero. Los datos del IPCC (2013, 2014a, 2014b) mostraron que el planeta entero, pero sobre todo la biodiversidad está muy cerca de puntos de ruptura con daños irreversibles. Sólo una sociedad post-carbono y desmaterializada, donde se recicle todo lo utilizado en el proceso de producción y de consumo, ofrecerían alternativas de una transición hacia la sustentabilidad (Brauch et al., 2016). Además, significa reorganizar el conjunto del sistema mundial de explotación, destrucción, violencia y discriminación, donde 68 hombres controlan la mitad de la riqueza del planeta y más que 3.5 mil millones de seres humanos (Oxfam, 2016). Ello significa un cambio cultural profundo, donde las raíces de este patriarcado, ancladas en miles de años de violencia y explotación, se conviertan en procesos solidarios, donde los bienes escasos deberían repartirse con equidad y justicia social, incluyendo a los más vulnerables.

Significa pensar en la Tierra, los ecosistemas, los servicios ambientales y las generaciones venideras. Por primera vez en la historia humana nos hemos convertido en nuestros propios destructores, pero a la vez, hemos

sido víctimas de este proceso de violencia socio-ambiental. Esta amenaza existencial no se puede resolver con armas, ni con un ejército. Es importante partir con visiones de un mundo alternativo como el ‘vivir bien’ de los aimaras. Formamos parte de este planeta, somos un elemento más en la biodiversidad, pero no somos sus dueños. Estos cambios civilizatorios tan arraigados en el sistema capitalista no se dan inmediatamente, sino sólo a partir de catástrofes gigantescas y a la mejor, con puntos de rupturas en el sistema tierra, que tornarán partes importantes del planeta en inhabitables. Sólo entonces entenderíamos, en caso de que sea posibles que la raza humana sobreviva, lo que significa respeto a la pacha mama.

## LITERATURA CITADA

- Bazdresch, C. y Levy, S. 1990. *El populismo y la política económica de México*. <http://herzog.economia.unam.mx/lecturas/inae4/u211.pdf> Fecha de consulta: 5 de noviembre de 2014.
- Brauch, H.G., Oswald Spring, Ú., Grin J. y Scheffran, J. (eds.) 2016. *Sustainability Transition and Sustainable Peace Handbook*. Springer International Publishing, Cham.
- Crespo, H. (coord.) 2010. *Historia de Morelos. Tierra, gente, tiempos del Sur*. Congreso del Estado de Morelos, Cuernavaca.
- Grin, J. y Loeber, A. 2007. “Theories of Learning. Agency, structure and change”, en Fischer, F. Miller, G.J. y Sydney, M. (eds.), *Handbook of Public Policy Analysis. Theory, Politics, and Methods*, CRC Press, Nueva York.
- Grin, J. y Van de Graaf 1996. “Technology Assessment as Learning”, *Science, Technology and Human Values*, Vol. 20, Núm. 1, pág. 72-99.
- Latinobarómetro (2015). “Opinión Pública Latinoamericana” <http://www.latinobarometro.org/lat.jsp> Fecha de consulta: 2 de marzo de 2016.
- Maldonado Jiménez, D. (1984). *Cuauhnáhuac y Huaxtepec (Tlahuicas y Xochimilcas en el Morelos Prehispánico)*, CRIM-UNAM, Cuernavaca.
- Maldonado, B.elinda, Ortiz, A. y Dorado, O. 2004. *Preparados galénicos e imágenes de Plantas Medicinales. Una alternativa para promotores de salud en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla*, CEAMISH-UAEM, Cuernavaca.
- Mentz, B. von 2008. *Cuauhnáhuac 1450-1675*, M.Á. Porrúa, México, D.F.
- Moscovici, Serge (1973), “Prefacio”, en Herzlich, C. y Graham, D. (eds.), *Health and Illness. A Social Psychological Analysis*, Academic Press, Londres.
- Oswald Spring, Ú. 2008. *Gender and Disasters. Human, Gender and Environmental Security: A HUGE Challenge*, Source No. 8, UNU-EHS, Bonn
- Oswald Spring, Ú. 2013. “Dual Vulnerability among Female Household Heads”, *Acta Colombiana de Psicología*, Vol. 16, Núm. 2, pág. 19-30.
- Oswald Spring, Ú. y Jaramillo, F. 2012. “Del Holoceno al Antropoceno: evolución del ambiente en Morelos”, en Crespo, H. y Morales Moreno, L.G. (eds.), *Historiografía de Morelos. Tierra, gente, tiempos del Sur*, Congreso del Estado de Morelos y UAEM, Cuernavaca, pág. 325-384.
- Oswald Spring, Ú., Serrano Oswald, S.E., Estrada Álvarez, A., Flores Palacios, F., Ríos Everardo, M., Brauch, H.G., Ruiz Pantoja, T.E., Lemus Ramírez, C., Estrada Villareal, A. y Cruz, M. 2014. *Vulnerabilidad social y género entre migrantes ambientales*. CRIM, DGAPA/UNAM, Cuernavaca.
- Oxfam 2016. *Wealth: Having it All and Wanting More* [www.oxfam.org](http://www.oxfam.org) Fecha de consulta: 5 de enero de 2016.
- Sarmiento Silva, S. 1997. *Morelos, sociedad, economía, política y cultura*, CEIICH-UNAM, México.
- Weiss, T.G. y Thakur, R. 2011. *The UN and Global Governance: An Idea and Its Prospects*, Indiana University Press, Bloomington.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 69. Adriana Hernández. CAMBIOS URBANO- TURÍSTICOS Y RESISTENCIA EN EL TERRITORIO RIBEREÑO DE LA CUENCA DEL LAGO DE CHAPALA, JALISCO.

[Regresar al índice](#)

Universidad de Guadalajara

### Resumen:

La cuenca del lago de Chapala, el más grande de México, tiene una extensión de 114, 629 hectáreas y se encuentra conformada por 10 municipios, siete de ellos pertenecen al estado de Jalisco y tres al estado de Michoacán. Desde periodos prehispánicos pobladores cocas, nahuas y purépechas se establecieron y construyeron una cultura y cosmovisión integrada al agua como origen y forma de vida. Sin embargo, el modelo globalizador actual va conformando corredores con nuevos paisajes en el territorio, a través de la instalación de proyectos económicos, políticos, sociales, culturales y ambientales a través de políticas públicas e inversiones privadas que afectan a toda la cuenca.

En el área de Jalisco de la cuenca del lago de Chapala se encuentran los municipios de Tizapán el alto, Tuxcueca, Jocotepec, Chapala, Poncitlán, Ocotlán y Jamay, que registran cambios en el territorio como: La expansión de corredores turísticos y desplazamiento de los habitantes históricos del lago como los pescadores, campesinos y artesanos que fundamentaban su vida alrededor de las actividades desarrolladas en torno a su ambiente lacustre. Mientras, inversionistas pretenden la compra de tierras ejidales o comunales para la construcción de zonas residenciales, turísticas, modernización de carreteras panorámicas que invitarían a un mayor número de turistas hacia toda la ribera del lago.

Un problema en incremento es el impacto en la salud debido al uso de aguas contaminadas del lago o por manantiales que contienen manganeso y azufre, por lo que la población está padeciendo enfermedades renales. Existe resistencia por parte de las comunidades nativas como Mezcala, San Pedro Itzicán, Agua Caliente, La Zapotera, entre otras. Una de sus principales defensas es la prohibición de venta de la tierra a personas externas a sus comunidades, la protesta hacia la autoridad y el apoyo a la situación de los enfermos renales, entre otros.

La ponencia aborda desde el enfoque etnográfico la cultura lacustre, los procesos emergentes y la nueva distribución territorial que fractura la cuenca del lago de Chapala, así como posibles caminos para un manejo integral y su conservación.

**Palabras Clave:** Pescadores, cultura lacustre, conflicto, conservación.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 203. Patricia Ávila García. PUEBLOS INDÍGENAS Y BOSQUES FRENTE AL CAMBIO GLOBAL EN CUENCAS HIDROLÓGICAS DEL CENTRO Y OCCIDENTE DE MÉXICO

[Regresar al índice](#)

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad. UNAM Campus Morelia.

### Resumen:

El objetivo de esta ponencia consiste en mostrar la importancia sociocultural de los bosques y agua en los pueblos indígenas que habitan en cuencas hidrológicas del centro y occidente de México, así como las transformaciones y amenazas que enfrentan por el cambio global: urbanización, globalización económica y cambio climático. Para ello se analiza el papel de diferentes actores y agentes formales e informales (gobiernos federal y estatal, empresas inmobiliarias y constructoras, agroexportadores, guardias blancas y crimen organizado) que intervienen en los territorios indígenas y la manera en que algunos de ellos tienen acciones contradictorias o que violentan las formas de organización social (políticas de protección ambiental y restauración forestal versus fomento de cultivos de exportación como aguacate y megaproyectos viales e inmobiliarios) y conllevan a escenarios de conflicto social por el control de recursos estratégicos (agua, suelo, bosques). En concreto se abordan los casos de tres grupos étnicos: mazahuas y otomíes, que se ubican en las cuencas del Lerma y Cutzamala en el estado de México, así como purépechas en las cuencas de Pátzcuaro y Zirahuén en Michoacán. Se documentan conflictos por la defensa de sus aguas, bosques y territorio: a) el caso del pueblo otomí de Xochicuautla y la defensa de su territorio frente al megaproyecto carretero asociado con la expansión megalopolitana en el llamado Bosque de Agua; b) el caso del pueblo mazahua y la defensa de su territorio (altamente vulnerable al cambio climático) frente a los proyectos de trasvase de agua a la zona metropolitana de la ciudad de México; y c) el caso del pueblo purépecha y la defensa de su territorio frente a proyectos turísticos y expansión aguacatera que exacerban los viejos conflictos agrarios y conllevan al despojo de sus bosques y aguas. La investigación se apoyó tanto en trabajo documental (bibliográfico, hemerográfico y archivo) como de campo (entrevistas, observación de asambleas y asistencia a encuentros nacionales) en tres regiones indígenas del eje neovolcánico transversal.

**Palabras Clave:** Mazahuas, Otomíes, Purépechas, Conflicto social, Urbanización, Globalización, Cambio Climático.





# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

MANEJO DE CUENCAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Mesa 7. Impacto de las actividades humanas sobre las cuencas.



Extenso ID: 326. Gustavo Ortiz y Agustín Muñoz. TASAS DE CAMBIO DE LA VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO EN LA REGIÓN CAFETALERA XALAPA-COATEPEC DEL ESTADO DE VERACRUZ

[Regresar al índice](#)

Universidad Veracruzana

## RESUMEN

El presente trabajo describe los tipos de vegetación y uso del suelo presentes en la región cafetalera Xalapa-Coatepec (Veracruz, México) y analiza sus tasas de cambio para los períodos 1995-2004-2014. Los tipos de cobertura más importantes fueron: bosque caducifolio, selva baja caducifolia, bosque de pino-encino, encinar, vegetación secundaria, café con diferentes gradientes de sombra, frutales, caña de azúcar, pastizal y cultivos anuales. Para el periodo 1995-2004 los tipos de cobertura muestran tasas negativas, es decir, que pierden superficie son: cítricos, pastizal, selva baja caducifolia, pinar, encinar y mal país, mientras que para el periodo 2004-2014 las tasas negativas corresponden a café, caña de azúcar, mango, siendo más altas para la selva baja caducifolia, encinar y cuerpos de agua. Es importante destacar que la mancha urbana y bosque caducifolio mantuvieron la tasa positiva en ambos periodos. La tasa de cambio negativa de la selva baja caducifolia contribuye a explicar el crecimiento hacía el sureste de la mancha urbana de la ciudad de Xalapa. Las fincas de café, por la superficie que ocupa, es el tipo de cobertura más importante para la región de estudio; para el periodo 1995-2004 muestra una tasa de cambio positiva (2.38%), no así para el periodo 2004-2014 ya que la tasa de cambio es negativa y sin duda, contribuye a explicar el fenómeno de urbanización a expensas de los cafetales ubicados en la periferia de Xalapa y Coatepec, sin embargo, más allá de las fronteras de la periferia de estas ciudades, el café no se encuentra en un proceso de reconversión productiva, en todo caso, lo que existe es la presencia de fincas abandonadas e improductivas.

**Palabras Clave:** tasas de cambio, tipos de vegetación, uso del suelo, región cafetalera Xalapa-Coatepec.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 161. Juan Luis Olvera Maldonado, César Rodríguez Trujillo, José Justo Mateo Sánchez, Felipe Neri Hernández Soto, Isaac Joaquín Méndez Manzano, Shari Magali Morales Marquez. COMPARACIÓN DE METODOS PARA ESTIMACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RIO TECOLUCLA.

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> ITSSNP, Zacatlán, Pue., email: juanluisom92@gmail.com

<sup>b</sup> ITSSNP, Zacatlán, Pue., email: [rotce\\_hell@hotmail.com](mailto:rotce_hell@hotmail.com)

<sup>c</sup> Silvicultura Avanzada, Zacatlán, Pue., email: jjmate@yahoo.com

<sup>d</sup> ITSSNP, Zacatlán, Pue., email: feneheso@gmail.com

<sup>e</sup> ITSSNP, Zacatlán, Pue., email: izack\_mendez\_manzano@outlook.es

<sup>f</sup> ITSSNP, Zacatlán, Pue., email: adnisl@hotmail.com

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue identificar un método de estimación de erosión hídrica de rápida aplicación y con valores confiables. Por lo anterior. Se compararon tres métodos, un método directo por clavos de erosión y dos indirectos aplicando la ecuación RUSLE, uno por SIG y otro en hoja de cálculo. El área de estudio se encuentra en la localidad de Metepec, Zacatlán, Puebla, intermediando dentro de las sub cuencas R. Necaxa y R. Laxaxalpan. En primer lugar la superficie de 1596.6 Ha se clasificó en unidades geomorfológicas para el método directo, se establecieron 17 parcelas y se registraron datos por un año. En segundo lugar se determinaron las variables necesarias para calcular los factores de la ecuación. Por una parte se determinó mediante el método directo, una pérdida promedio 23.725 t/ha/año, ahora bien el método indirecto por hoja de cálculo resulta en 27.361 t/ha/año, mientras que en el cálculo por SIG se estima 10.476 t/ha/año. Para determinar la factibilidad de los datos en los métodos indirectos se realizó una prueba de correlación con valor crítico de .482, que resulta en; un valor de 0.523 de coeficiente para la hoja de cálculo, contra -0.035 para la estimación por SIG, por lo que estadísticamente solo tienen correlación los valores por hoja de cálculo con el método directo. Se observó que la hoja de cálculo tiende a sobreestimar los valores del factor C, mientras que el método SIG sobreestima el factor LS. Por otra parte a la aplicación, tomo un mes estimar los valores necesarios para aplicar los métodos indirectos, por lo que ambos tienen el mismo tiempo de operación. Por todo lo anterior mencionado, el método que cumple con el objetivo es la estimación de la ecuación por hoja de cálculo. Se recomienda determinar valores exactos verificándolos en campo para los factores LS Y C en la aplicación del método en la región.

**Palabras clave:** (4-5) Sirven para identificar los temas principales del trabajo, incluir 4-5 manuscrito, plantilla, Acta, Microsoft Word

## INTRODUCCIÓN

En México, la erosión hídrica es la que más agobia a las tierras, debido a que el 65% del territorio nacional tiene pendientes mayores a 10%. Esta situación, aunada a una escasa cobertura vegetal al inicio de las lluvias, incrementa el riesgo de erosión hídrica en más del 70% del territorio, llegando a ser extrema en un 9% del país (CONAZA, 1994 cp. Pando et al. 2003). Las actividades humanas generan grandes impactos al medio ambiente, y por consiguiente, crean escenarios en los cuales la erosión del suelo es muy fácil de presentarse,

debido, entre otros factores, al cambio de uso de suelo, pérdida de cubierta vegetal, ausencia de obras de conservación y cambios en la morfología del suelo. La erosión hídrica es la remoción del suelo bajo la acción del agua, siendo la primera causa de degradación en México. Afecta tanto a las zonas de las cuales se retira el sustrato como a aquellas que son sepultadas por el depósito de sedimentos (SEMARNAT, 2000). Las interacciones del tamaño, velocidad y forma de las gotas de lluvia, la duración de la tormenta y la velocidad del viento controlan la fuerza erosiva de la lluvia (Kirkby M, 1984). El escurrimiento superficial ocurre cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la capacidad de infiltración de suelo (Ríos, 1987). La vegetación actúa como cubierta protectora, estableciéndose como un buffer entre el suelo y la atmósfera (Morgan, 2005). Algunas metodologías para la estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica son muy costosas, con factores difíciles de medir y de controlar, que alteran los resultados finales de la investigación, además la mayoría de ellas están dirigidas al suelo con un uso agrícola, como bien podrían ser las parcelas de escorrentía y las trampas de sedimentos. Los métodos directos para la evaluación de la erosión hídrica suelen proporcionar datos precisos, pero son laboriosos, requieren mucho tiempo y son costosos. Los métodos indirectos para evaluar la tasa de erosión son relativamente fáciles de aplicar, pero su precisión no ha sido ampliamente probada para los diferentes usos de suelo.

El objetivo de este trabajo fue estimar la pérdida de suelo superficial por erosión hídrica en el área de Metepec, Zacatlán, Puebla. Por otra parte se estableció el objetivo de encontrar un método indirecto que pueda ser aplicado en un lapso de tiempo corto y que se aproxime a los valores cuantitativos de erosión actual y erosión potencial, determinados por un método directo.

Por lo anterior, este trabajo evaluó la erosión hídrica por la metodología de parcelas de clavos modificada y la ecuación RUSLE calcula por dos medios, uno por una hoja de calculo en Excel y otro mediante el uso de sistemas de información geográfica.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Area de estudio.**

El área de estudio se encuentra en la comunidad de Metepec del municipio de Zacatlán, Puebla a una altura de 2300 msnm en la parte más alta y a 1900 msnm en la parte más baja, con una superficie total de 1596.6 ha, dentro la cuenca RH27-Río Tecolutla e Intermediando en las subcuencas RH27Bb R. Necaxa y RH27Bc R. Laxaxalpan. Las principales actividades productivas son: extracción de mineral feldespato y agricultura de temporal. En las partes altas de la microcuenca, donde se encuentra el bosque de pino encino, se hace un aprovechamiento forestal por parte de algunos particulares.

Geológicamente, el área de estudio de acuerdo a la carta geológico minera con clave E14-2 del SGM (2002) está constituida principalmente por rocas de la era cenozoico, de un periodo Cuaternario con tipo Andesita-basalto- QptA -B5 y Terciario neógeno con tipo Rioluta-toba dacita-TplR- TDa.

Los tipos de vegetación presentes en el área de estudio, según el inventario del estado de Puebla del 2012 en la carta de recursos forestales con clave E14-B13, son: vegetación primaria de bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino, vegetación primaria de bosque de pino-encino, vegetación inducida de pastizal y agricultura de temporal de ciclo anual.

Los tipos de suelo presentes en el área de estudio, según la carta edafológica escala 1:50 000 de INEGI (2000), son: Andosol, Histosol y Luvisol.

### **Metodología.**

### **Método directo.**

El método directo para la estimación de la erosión hídrica consiste básicamente en la mejora por parte de (Mendoza y Tinoco 1994) al método de clavos y rondanas del Colegio Postgraduados Chapingo (1982). Con el reemplazo particular de por Cuitiño (1999) de las varillas de hierro liso por rayos de bicicleta. Por recursos distintos se modificó el tamaño de las parcelas a 5 m de largo y 1,2 m de ancho, dando un total de 70 rayos por parcela. Se monitoreo y midió los cambios por un año.

El diseño de muestreo fue aleatorio estratificado. Se realizó una clasificación geomorfológica usando el software Arcgis 10.3, sobre poniendo información de las cartas de geología E14-2 del SGM (2002), pendiente (elaboración propia) y edafología INEGI (2000). La clasificación de pendiente se realiza en base a Lugo (1988), donde "pendiente suave" corresponde a terrenos casi planos, con 2 a 5 grados; "pendiente tendida" se refiere a terrenos con 5 a 15 grados; "pendiente media" a terrenos con pendientes entre 15 y 35 grados y "pendiente abrupta" a terrenos con más de 35 grados de pendiente.

Posteriormente se sobre puso una malla de puntos equidistantes a 500 mts de los cuales se seleccionaron 17 puntos aleatorios. Resultando esto en 17 parcelas en el área de estudio a una distancia mínima de 500 mts. Se registró su pendiente, tipo de vegetación y exposición. Además se tomaron muestras de suelo de un kilogramo de los primeros 20 cm, para conocer su densidad aparente, con la finalidad de calcular los valores cuantitativos de erosión (erosión directa, potencia, suelo movilizado), además se determinó la textura de cada muestra de suelo, con el fin de calcular el factor k para el método directo.

### **Métodos indirectos.**

Para la estimación de la erosión hídrica mediante la ecuación RUSLE se utilizaron dos métodos, uno por medio de medio de una hoja de cálculo prediseñada por Rubio (2004) en base a Cortés (1991). Y otro por Sistemas de información geográfica (SIG) adaptando las formulas mediante el álgebra de mapas,

#### **Método indirecto hoja de cálculo.**

Se delimitaron 17 parcelas de 400 m<sup>2</sup> tomando como referencia central las coordenadas de las parcelas del método directo. Se estimó por cada parcela las variables necesarias para calcular cada uno de los factores de la ecuación: longitud y gradiente de la pendiente (LS) uso de suelo y vegetación (C), prácticas de manejo (P), además se tomó un amuestra de suelo a 30 cm (K). Para determinar el factor K se estimó la precipitación media anual en base a información de las 3 estaciones pluviométricas mar cercana al área de estudio. Posteriormente se procedió al llenado de la hoja de cálculo para la estimación de la erosión potencial y actual para cada uno de los 17 puntos.

#### **Método indirecto por SIG.**

El software utilizado para el cálculo de erosión fue Arcgis 10.3. Para determinar el facto LS se calculo la dirección y acumulación del flujo, mediante las herramientas Flow direction y Flow acomulation. Los valores obtenidos fueron multiplicados por un mapa de pendiente el cual se elaboró mediante la herramienta Slope en base un modelo digital de elevación, tomado del continuo nacional de elevación, el cual fue clasificado según los criterios de Leontiev y Richagov (Lugo, 1989 c.p Pando et al. 2003). Para el factor R se interpolaron los valores de las estaciones mediante la herramienta spline. El factor C fue obtenido como base del invertido del estado de puebla de la carta E14-B13 (CONAFOR, 2012), posteriormente se corrigió en por medio de la información recolectada en campo. El facto K fue estimado por Nomograma gracias a las muestras de campo, los valores fueron georreferenciado e interpolados en un mapa mediante la herramienta IDW de interpolación.



El factor P se calculó por medio de la delimitación de polígonos, a lo cuales se les caracterizó un valor de acuerdo a sus prácticas de manejo el cual fue transformado en un archivo tipo raster para su manipulación. Finalmente fueron multiplicados todos los factores mediante la herramienta Raster calculator.

### **Comparación de métodos.**

Para determinar la factibilidad de los datos en los métodos indirectos se realizó una prueba de correlación comparando ambos métodos indirectos contra el método directo. Solo se compararon los valores de erosión actual en toneladas por hectárea por año.

### **RESULTADOS**

Se determinó mediante el método directo de rayos de erosión modificado, una pérdida promedio 23.725 t/ha/año, ahora bien el método indirecto por hoja de cálculo resulta en 27.361 t/ha/año, mientras que en el cálculo por SIG se estima 10.476 t/ha/año. Para determinar la factibilidad de los datos en los métodos indirectos se realizó una prueba de correlación con valor crítico de .482, que resulta en; un valor de 0.523 de coeficiente para la hoja de cálculo, contra -0.035 para la estimación por SIG, por lo que estadísticamente solo tienen correlación los valores por hoja de cálculo con el método directo.

### **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Se observó que la hoja de cálculo tiende a sobreestimar los valores del factor C, tal vez debido al cambio constante del lugar, lo impide determinar un valor más sesgado de la vegetación., mientras que el método SIG sobreestima el factor LS, con respecto a los valores directos creemos que a diferencia es debido al gran cambio constante en la orografía del lugar. Por otra parte a la aplicación, tomo un mes estimar los valores necesarios para aplicar los métodos indirectos, por lo que ambos tienen el mismo tiempo de operación. Por todo lo anterior mencionado, el método que cumple con el objetivo es la estimación de la ecuación por hoja de cálculo, ya que estadísticamente se acerca más a los valores reales de pérdida de suelo. Aunque el tiempo para obtener los datos de las variables para determinar los factores dependerá de la extensión de área de estudio y de los recursos disponibles, es considerablemente poco en comparación a un monitoreo de un año del método directo. Se recomienda para la región, de ser posible, no tomar ningún valor de bibliografía para el cálculo de algún factor y verificar todos los valores en campo.

### **LITERATURA CITADA**

- Comisión Nacional Forestal CONAFOR, 2012, Inventario del Estado de Puebla, carta E14-B131:50,000.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI. (2000). Carta E14-B13. Edafológica 1:50 000.
- Kirkby M, J. y. (1984). Erosión de suelos. *Libro*. México, DF: Limusa.
- Morgan, R. (2005). Soil Erosion and Conservation. National Soil Resources Institute Cranfield University.
- Comparación de métodos en la estimación de erosión
- Hídrica.



# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- Pando, M. M., Gutiérrez G. M, Maldonado H. A., J., P. P (2003). Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM Num. 51, 2003, pp. 23-36*
- Pizarro y Cuitiño. (2002). Método de Evaluación de la Erosión Hídrica Superficial en Suelos Desnudos en Chile. 6. Universidad de Talca.
- Ríos, B. J. (1980). Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. 554. Montecillos, Estado de México, México: Colegio de Postgraduados.
- SEMARNAT. (2000). Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Factores asociados a la degradación.
- Sistema Geológico Mexicano (2002). Carta E14-2 1 Geológico- Minera. 1:250,000.
- Rubio (2004) desde: [http://www.sagarpa.gob.mx/sdr/apoyos/publicaciones/dctos\\_excell/](http://www.sagarpa.gob.mx/sdr/apoyos/publicaciones/dctos_excell/)
- <https://www.google.com/url?q=http://www.sagarpa.gob.mx/ desarrolloRural/Publicaciones/Lists/CursoTaller%20Desarrollo%20de%20capacidades%20orientadas%20a/Attachments/37/01estimacion%20de%20la%20erosion.xls&sa=U&ved=0ahUKEwjXrfigpO3OAhVP3WMKHWkKCVkQFggEMAA&client=internal-uds-cse&usq=AFQjCNEycAhVQjzf0FYXj9bFF8BrpvZOGg> consultado el 15 de Agosto de 2015.



Extenso ID: 255. Melchor Rodríguez Acosta, José Luís Herrera Téllez, Mirna I. López Triano, Félix Malpica Sánchez. CAUSAS, EFECTOS Y POSIBLES SOLUCIONES AL COMPORTAMIENTO EROSIVO DEL RÍO GAVILANES, EN LA CUENCA BOBOS-NAUTLA, VERACRUZ, MÉX.

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> INIFAP-CIRGOC-C.E. Ixtacuaco. Km. 4.5 Carret. Martínez de la Torre-Tlapacoyan. Tlapacoyan, Ver.  
Email:rodriguez.melchor@inifap.gob.mx

<sup>b</sup> Sociedad Ambiental Waayá, A.C. Calle Ferrer Col. Centro. Tlapacoyan, Ver.  
Email:ingluishtellez@gmail.com

## RESUMEN

La cuenca del Río Bobos Nautla presenta una disminución severa en su cobertura arbolada debido principalmente al cambio de uso de suelo. Siendo una cuenca de vocación forestal se ha transformado su superficie en un 65% para uso agrícola y ganadero, propiciando la erosión del suelo por efecto de las lluvias torrenciales. La escasa cobertura arbolada genera tasas bajas de infiltración a los mantos acuíferos subterráneos y propicia las descargas rápidas aguas abajo. De las cuatro subcuencas tributarias del Río Bobos: Jalacingo, Alseseca, María de la Torre y Gavilanes, se observa mayor poder erosivo en este último dada la topografía y concentración de escorrentías en periodos cortos de tiempo, sobrecargando el sistema fluvial ocasionando el ensanchamiento y desplave en algunos tramos. Como resultado de los perfiles longitudinales hidrológicos y transversales, el Río Gavilanes muestra una longitud de 121 km desde la cabecera hasta la desembocadura; las variables topobatemétricas obtenidas mediante la ecuación de Manning en diferentes secciones transversales a la altura de Mexcalteco: 26.897, 17.160, 0.638; El filobobos: 35.719, 22.324, 0.625; La Palmilla: 97.27, 39.394, 0.405 correspondientes respectivamente a la sección húmeda ( $m^2$ ), el gasto (lt/seg), y la velocidad (m/seg) confirman el alto grado de perturbación a través del proceso de intemperización de la roca hasta convertirse en un estrato de minerales y materia orgánica. La precipitación media anual de la cuenca y el diferencial de la escorrentía en aproximadamente 37.5% del valor hídrico de la precipitación es una posible causa del comportamiento erosivo del río. El comportamiento insular que provoca la bifurcación y trifurcación se hace más frecuente a partir de las grandes avenidas como la ocurrida en el año 1999. Las áreas arboladas en las márgenes del río contribuye a disminuir el fenómeno erosivo propiciando la conservación de la capa orgánica de suelo y sus estratos inferiores. Sin embargo, la medida más efectiva para disminuir los efectos de este fenómeno consiste en conservar las áreas arboladas ya existentes en la cuenca alta y reforestar aquellas zonas que presenten erosión, así como proveer vegetación arbolada en las áreas de recarga de las fuentes acuíferas.

**Palabras clave:** Erosión hídrica, cuenca, reforestación, caudal, fenómeno insular.

## 1 INTRODUCCIÓN

Las corrientes de agua son muy dinámicas; la cuenca, la geología, el clima, la vegetación y otros factores influyen de forma determinante en su comportamiento. Para su análisis se requiere conocer algunas

características morfológicas principales como la longitud, pendiente, densidad, sección transversal y forma en planta entre otras (Suárez, 2001). La cuenca del Río Bobos-Nautla ocupa una superficie de 3404.90 Km<sup>2</sup>, una pequeña porción se encuentra en el estado de Puebla y la mayor parte en el estado de Veracruz (Gaceta oficial Veracruz, 2004). Tiene cuatro ríos tributarios principales: Gavilanes, Jalacingo, Alseseca y María de la Torre. El cambio de uso de suelo es uno de los principales problemas de la cuenca motivado por el crecimiento poblacional en los últimos años. Se ha convertido en uso agrícola y pecuario principalmente. Tiene una gran disponibilidad de agua en los ríos y corrientes tributarias al principal Río Bobos, sin embargo, es común que por efecto del cambio climático los volúmenes de agua se han concentrado en periodos cortos y disminuido su caudal promedio en el transcurso del año. En el presente trabajo se tiene como objetivo definir las causas principales, sus efectos y posibles soluciones al comportamiento erosivo del río Gavilanes, afluente principal de la cuenca.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El río Nautla nace en la Sierra Madre Oriental al Norte del Cofre de Perote (Figura 1) a una altitud de 3715 msnm (Coordenadas UTM 693724 Longitud Este y 2158542 Latitud Norte).



Figura 1. Nacimiento del Río Nautla al Norte del Cofre de Perote.

El área de estudio comprende la subcuenca del Río Gavilanes que se ubica entre las coordenadas 19°42'32.66'' y 20°14'36.75'' de Latitud Norte y 97°10'09.82'' y 96°46'31.24'' de Longitud Oeste. (Figura 2). Se inicia con el nombre de Arroyo Borregos cuyo rumbo varía hacia el noroeste y el Arroyo Las Ánimas con dirección noroeste (SRH, 1969) hasta confluir constituyendo el Río Gavilanes. A 2.5 km aguas debajo de esta confluencia concurre por la margen derecha el Río Puerco y 3 km más abajo se le une por la margen derecha el Arroyo El Suspiro. Que nace a 4150 msnm en el Cofre de Perote. Sigue su curso hacia el Norte y cambia al Noroeste en las inmediaciones del Arroyo Tenexpanoya y de ahí su rumbo sigue hacia el noreste hasta su afluencia con el Río Trinidad (Pereyra, et. al., 2010).

En la confluencia del Arroyo Borregos y el Arroyo El Suspiro se localiza la planta hidroeléctrica Las Minas. A esta planta le llegan las aguas que son capturadas por pequeñas presas derivadoras situadas en los arroyos Tenexpanoya, el Sauce, El Suspiro, Las Ánimas, Borregos y el río Puerco, interconectados por un canal.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Después de esta confluencia, el colector recibe el nombre de río Trinidad; fluye hacia el noreste en áreas de topografía abrupta y pendientes pronunciadas que muestran taludes escarpados; cambia el rumbo de su cauce hacia el noroeste y recibe algunas aportaciones menores por ambas márgenes. A partir de este tramo, la corriente principal toma el nombre de río Bobos, recibiendo por su margen derecha aportaciones de los arroyos Xoxotla y Tepanapa. A 6 km al noreste de la población de Tlapacoyan, Ver., al río Bobos se le une, por su margen izquierda, el río Tomata. Este río sigue una dirección noreste a través de una penillanura hasta su desembocadura en el Golfo de México. En este tramo convergen al río Bobos por su margen derecha los ríos San Pedro y Quilate (Pereyra et al., 2010).

Uno de los principales afluentes del río Bobos, por la margen izquierda, es el río María de la Torre, que nace en el estado de Puebla, en el poblado de San Sebastián, a 1,750 m de altitud con el nombre de río Xoloco. A partir de la confluencia del arroyo Colorado y el río Chapalapa con el río Bobos, éste cambia su nombre por el de río Nautla, que viaja a través de una zona de meandros, pasa cerca del poblado de Nautla y se desvía hacia el norte, para desembocar finalmente al Golfo de México formando la Barra de Nautla, cerca de la que recibe por la margen izquierda la aportación del estero Tres Encinos que en su origen se le conoce como arroyo del Potrero. Entre los límites de la cuenca de los ríos Nautla y Actopan se sitúan algunos ríos que desembocan directamente al Golfo de México, entre los que destacan los ríos Misantla, Colipa, Juchique, Santa Bárbara, Santa Ana, Platanar y Barranca de Hernández, así como las lagunas del Camarón y de San Agustín (Pereyra et al., 2010).



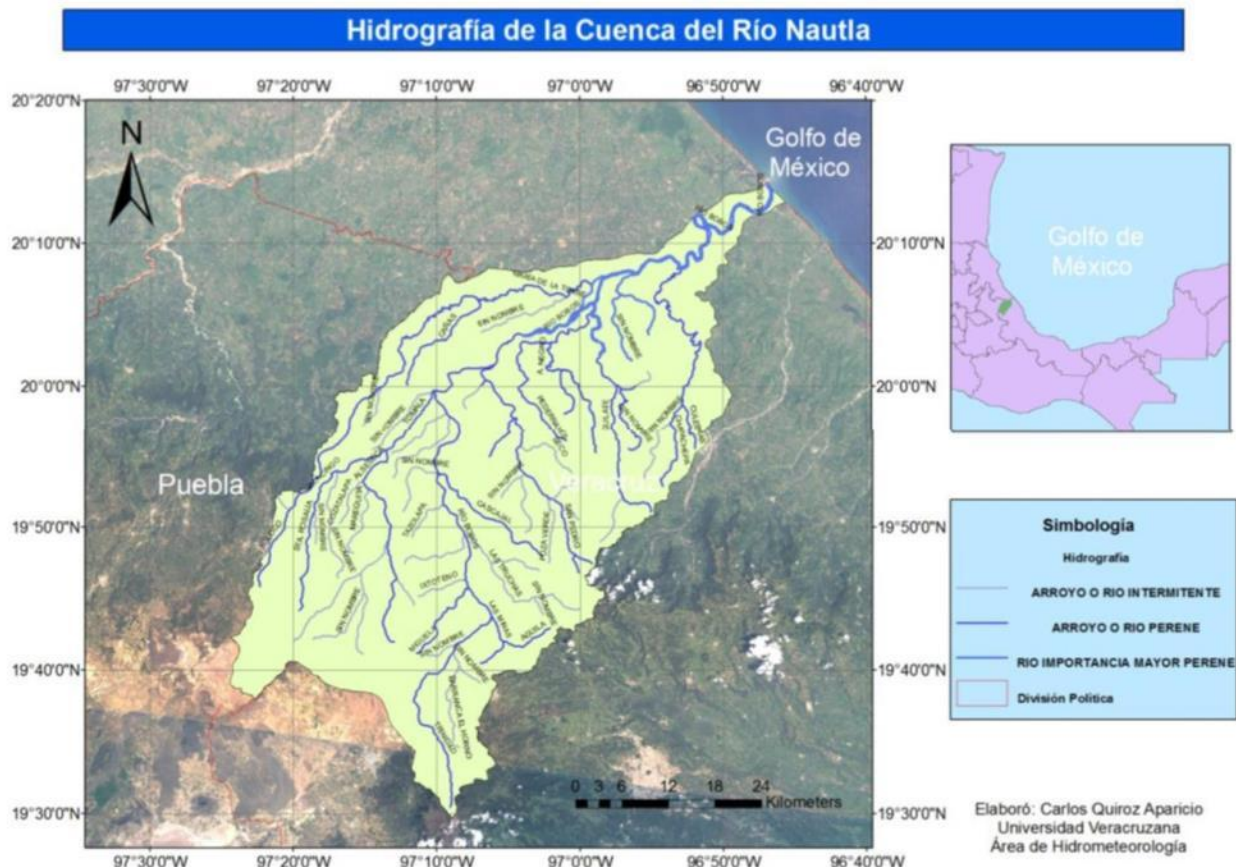


Figura 2. Ubicación geográfica de la Cuenca del Río Nautla.

Para obtener el perfil longitudinal del río se utilizó la red de estaciones climatológicas del Sistema Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua que permite graficar la distancia contra la altitud en todo el trayecto del río desde la cabecera (Arroyo Borregos) hasta la desembocadura (Barra de Nautla).

En el caso de las secciones transversales se definieron tres puntos distribuidos a lo largo del río: 1. Sección entrante del puente colgante peatonal “Mexcalteco”, 2. Sección entrante del puente vehicular articulado “El Filo” y 3) Sección entrante del puente peatonal colgante “La Palmilla” en los que se procedió a hacer un levantamiento topobatimétrico del cuerpo húmedo del cauce. En cada puente se tomó como referencia el punto medio de la sección transversal definiendo cotas horizontales cada dos metros hacia el margen izquierdo y derecho. Las cotas altimétricas se determinaron por medio de la inmersión de un estadal con una carga de fondo y sujeto a una cuerda para darle la verticalidad necesaria y tomar la lectura de la profundidad utilizando un nivel fijo para la observación instalado en una de las márgenes del río. Posteriormente, los datos obtenidos en campo se procesan mediante el trazo geométrico para formar la dovela hidrológica que permite determinar el área de sección transversal; se obtuvo la velocidad aplicando la fórmula propia en función de la distancia



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

conocida recorrida por un cuerpo flotante en el curso del río y el tiempo transcurrido para recorrer dicha distancia:

$$V = \frac{d}{t} \quad \text{Donde:}$$

V= velocidad del agua en m/seg

d= distancia en m

t= tiempo en seg

Para determinar el caudal del río en cada punto se utilizó el método de Manning expresado en la siguiente fórmula:

$$Q(h) = \frac{1}{n} * \frac{A(h)^{\frac{5}{3}}}{P(h)^{\frac{2}{3}}} * S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Donde:}$$

**Q(h)**= Caudal del agua en m<sup>3</sup>/seg, función del tirante hidráulico **h**

**A(h)**= Área mojada (área de la sección del flujo de agua, en m<sup>2</sup>, función del tirante hidráulico **h**

**P(h)**=Perímetro mojado, en m, función del tirante hidráulico **h**

**n**= Un parámetro que depende de la rugosidad de la pared, su valor varía entre 0.01 para paredes muy pulidas (p.e. plástico) y 0.06 para ríos con fondo muy irregular y con vegetación.

**V(h)**= Velocidad media del agua en m/s, que es función del tirante hidráulico **h**

**S**= La pendiente de la línea de agua en m/m

Como parte de la metodología se realizaron recorridos dirigidos en parteaguas y vegas del Río de ambos márgenes con el objeto de levantar evidencia de las causales erosivas; se elaboró una memoria fotográfica y una memoria satelital en puntos de interés de la investigación.

### 3 RESULTADOS

El perfil longitudinal del Río Gavilanes considerando los dos arroyos tributarios iniciales: Borregos (Figura 3) y Las Ánimas (Figura 4) muestran los gradientes hidráulicos altamente pronunciados que contribuyen a la erosión longitudinal observada aguas abajo de la confluencia de estos dos arroyos.



Figura 3. Perfil longitudinal del Arroyo Borregos.



Figura 4. Perfil longitudinal del Arroyo Las Ánimas.

En el caso del arroyo Borregos, en los primeros 2.5 km se aprecia una pendiente de 30% y considerando la distancia total de 18 km al punto de confluencia se tiene una pendiente del 7%.

Para el Arroyo Las Ánimas en el primer tramo de 2.5. km tiene una pendiente de 13.92% y en su distancia total de 19.4 km la pendiente es de 5%.

Las secciones transversales hidrográficas obtenidas en los tres puntos: Mexcalteco, El Filo y La Palmilla se muestran en las Figuras 5, 6 y 7 respectivamente.



Figura 5. Sección Transversal Hidrográfica del Mexcalteco.



Figura 6. Sección Transversal Hidrográfica de El Filo.



Figura 7. Sección Transversal Hidrográfica de La Palmilla.

En los parámetros hidrométricos mostrados en el Cuadro 1. obtenidos mediante la dovela hidrológica en las secciones transversales se observa que la mayor velocidad del fluido se presenta en la estación Puente Mexcalteco el cual se ubica en la parte más alta de la montaña y sus pendientes son más pronunciadas que en los otros dos puntos de interés.

**Cuadro 1.** Parámetros hidrométricos obtenidos en las Estaciones Puente.

Estación Puente	Distancia del punto de inflexión vertical al		Cota altimétrica al parteaguas (m)		Área Hidráulica (m <sup>2</sup> )	Perímetro Húmedo (m)	Velocidad del fluido (m/seg)	Gasto Q (m <sup>3</sup> /seg)
	Izq	Der	Izq	Der				
<b>Mexcalteco</b>	915.00	1507.00	745.00	1214.00	26.897	49.373	0.638	17.160
<b>El Filo</b>	494.81	2008.21	410.00	489.00	35.719	99.903	0.625	22.324
<b>La Palmilla</b>	103.98	184.82	135.00	415.00	97.27	139.536	0.405	39.394

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con Morgan (2005) citado por UNESCO(2010) las principales variables que ocasionan la erosión en un suelo son: el clima, la vegetación, hojarasca, tipo de suelo, topografía, velocidad de flujo y uso de la tierra.

En los recorridos realizados en la subcuenca del Río Gavilanes se observa la existencia de gran cantidad de material petreo acumulado en la vega del río como producto del arrastre y sedimentación, principalmente durante las avenidas extraordinarias ocurridas en la temporada de lluvias. De las variables del clima, la lluvia es la más importante, sobre todo durante la presencia de tormentas manifestando su poder erosivo en función de la cantidad de lluvia que cae(mm) y la intensidad(mm/hr). Tormentas muy intensas pueden ocasionar una gran erosión. Dos tormentas intensas ocurridas en la Cuenca del Nautla durante las fechas del 12-15 de septiembre de 1999 y 3-6 de octubre de 1999 acumularon durante cuatro días consecutivos la cantidad de 119.4 y 427.6 mm respectivamente (Quiroz, 2013), alcanzando en la segunda tormenta un promedio de 4.45 mm/hr, cantidad de agua suficiente para ocasionar graves inundaciones en las partes bajas de la cuenca por el arrastre de partículas de suelo y rocas de diversa granulometría a lo largo del trayecto del río Gavilanes o bien del Bobos y del Nautla, nombrados así conforme desciende su altitud. El comportamiento insular que provoca la bifurcación y trifurcación se hace más frecuente a partir de las grandes avenidas como la ocurrida en el año 1999.

Este comportamiento erosivo se atribuye también a los altos gradientes hidráulicos de la parte alta de la cuenca ocasionando que la capacidad de arrastre de los Arroyos Borregos y Las Ánimas sumen una potencia conjunta de 4035.15 N sobre la Dovela Hidrológica analizada en el Puente Mexcalteco. Aunado a esto, en las márgenes de los ríos y en las partes altas del parteaguas, la vegetación arbolada se ha visto disminuida drásticamente cambiando su uso de suelo a agrícola y ganadero. En tres municipios: Atzalan, Martínez de la Torre y





Tlapacoyan cuyos territorios están inmersos dentro de la cuenca del Nautla tienen destinado a uso forestal solamente el 29.36, 6.56 y 3.88% del total de la superficie del municipio respectivamente (CONAFOR, 2014). Los cambios en la estructura y composición de la cobertura vegetal, los procesos de degradación de suelos o el sellamiento de la superficie por urbanización, alteran irremediablemente las condiciones de infiltración, escurrimiento, percolación y evapotranspiración del agua (Cotler, et.al. 2010). Considerando lo especificado por UNESCO (2010), la vegetación puede reducir la erosión dependiendo de la altura y la continuidad de la copa de los árboles, así como la continuidad de la cobertura superficial (pastos, hierbas y arbustos); las acículas de las pináceas tienen la capacidad de desintegrar las gotas de lluvia, minimizando el poder erosivo de estas, mientras que otro tipo de hojas lobuladas, típicas de especies arbóreas latifoliadas, actúan como microcuencas formando gotas de mayor tamaño y consecuentemente ocasionan mayor erosión al impactar el suelo.

Otro aspecto importante en el estudio es la geología de la cuenca. Esta cuenca se localiza en el límite oriental del Eje neovolcánico, clasificada geológicamente como una unidad vulcano sedimentaria ya que los procesos sedimentarios asociados a la actividad volcánica fueron simultáneos al desarrollo de la cuenca. La sobreposición de esta cubierta volcánica cenozoica hace que sean menos claros los dominios estratigráficamente inferiores, sin embargo, la unidad geológica subyacente es una secuencia de rocas sedimentarias marinas predominantemente calcáreas y corresponden a este tiempo geológico.

Las áreas arboladas en las márgenes del río contribuye a disminuir el fenómeno erosivo propiciando la conservación de la capa orgánica de suelo y sus estratos inferiores. Sin embargo, la medida más efectiva para disminuir los efectos de este fenómeno consiste en conservar las áreas arboladas ya existentes en la cuenca alta y reforestar aquellas zonas que presenten erosión, así como proveer vegetación arbolada en las áreas de recarga de las fuentes acuíferas.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

Se agradece la colaboración y ayuda recibida por la Unión Regional de Productores de Plátano Dominico, A.C. a través de sus respectivas asociaciones locales de Tlapacoyan, Atzalan y Jalacingo, Veracruz.

## **6. LITERATURA CITADA**

- Cotler H., Garrido A., Bunge V. y Cuevas M.L. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: Priorización y toma de decisiones. En: Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización (H. Cotler, Ed.). Instituto nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. México, D.F. México. Pp.210-215.
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 2004. 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. Num. 111 del 3 de Junio de 2004. 5 p.
- Pereyra, D., Pérez J.A. y Salas R. 2010. Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el estado de Veracruz. Universidad Veracruzana, Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1969. Boletín Hidrológico Núm. 42. RH 27. Tomo I. 115 p.
- SEMARNAT-CONAFOR. 2014. Inventario Estatal Forestal y de Suelos. Veracruz de Ignacio de la Llave. México. 212 p.
- Suárez, D.J. 2001. Control de erosión en zonas tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. 545 p.
- Quiroz, A. C. 2013. Simulación del escurrimiento de la cuenca del Río Nautla, México usando el modelo HEC-HMS. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. México.
- UNESCO, 2010. Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas. Documentos técnicos del PHI-LAC, No. 22.





IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 175. Juan Ángel Tinoco Rueda, Iris Jetzabel Carrillo Negrete, Jesús David Gómez Díaz, Alejandro Ismael Monterroso Rivas. DEGRADACIÓN DE TIERRAS EN LA CUENCA JAMAPA CON PERSPECTIVAS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Oriente, Huatusco, Veracruz, email: tinoco@correo.chapingo.mx

<sup>b</sup> Geomática y Recursos Naturales México, A.C., Huatusco, Veracruz, email: iriscarrillo@gmail.com

<sup>c</sup> Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Texcoco, México, email: dgomez@correo.chapingo.mx, aimrivas@correo.chapingo.mx

## RESUMEN

La degradación de tierras es la reducción o pérdida de la productividad y funciones de los ecosistemas, la cual es causada por disturbios naturales o antropogénicos. Esta degradación se registra en forma de reducción de los servicios ecosistémicos presentes en los recursos suelo, agua, biodiversidad y atmósfera. Algunas de las consecuencias de la degradación de tierras son la inseguridad alimentaria, migración por parte de los sectores más vulnerables, pobreza, pérdida de biodiversidad y disputa por los recursos naturales más escasos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la degradación de tierras en la cuenca Jamapa. Se cuantificó la degradación de tierras en cada uno de sus componentes por medio de cartografía temática digital a escala 1:250000. Para evaluar la degradación del suelo se estimó el riesgo de erosión hídrica y la degradación física; para el caso de la degradación del agua se analizó la distribución de la cantidad y calidad del recurso hídrico. La degradación del recurso biodiversidad se estimó por medio de la calidad ecológica y el cambio de uso del suelo; por otro lado, para la degradación de la atmósfera se consideró las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de fuentes fijas y los modelos de cambio climático. Como resultado se encontró que la parte baja de la cuenca es la zona que registra el nivel más alto de degradación de tierras. Por su parte la parte media obtuvo un nivel medio de degradación mientras que la parte alta registra la menor alteración. Los principales factores que originan degradación de tierras en la cuenca Jamapa son la deforestación, el crecimiento poblacional, el cambio climático y los sistemas agropecuarios intensivos. Se recomienda establecer un programa de ordenamiento territorial en la cuenca y a nivel municipio para disminuir la degradación de tierras, así como establecer sistemas productivos sustentables.

**Palabras clave:** desertificación, sistemas de información geográfica, sustentabilidad

## 1. INTRODUCCIÓN

La Convención de las Naciones Unidas de Luchas Contra la Desertificación describe a la desertificación como la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas. La misma Convención establece que la degradación de tierras es la reducción o la pérdida de productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas (ONU, 1994). Las causas de la degradación de tierras son múltiples, pero la gran mayoría se

originan del mal manejo que se les da, su explotación inadecuada como las prácticas agrícolas poco sustentables, el sobrepastoreo y la deforestación. También se contempla que la tenencia de la tierra juega un papel muy importante ya que existen pocos o ningún tipo de incentivo para invertir en el manejo sustentable de la tierra y se suele más bien utilizar para la satisfacción de necesidades en el corto plazo (SEMARNAT, 2010).

Para México se estima que en el periodo 1970-2002 se tuvo una pérdida de ecosistemas naturales de más de 100 mil hectáreas por año (SEMARNAT, 2010). De forma similar, la Evaluación de la Degradación de los Suelos (SEMARNAT-CP, 2002) establece que el 47.7 % de la superficie total del país presenta algún tipo de degradación del suelo, y que de esta superficie, el 05 % presenta un deterioro severo o extremo y el restante 95 % se ubica en las categorías de ligero a moderado. Los principales procesos de degradación de los suelos en México son la degradación química, la erosión hídrica y la erosión eólica, los cuales en conjunto son responsables del 87 % de la superficie afectada.

Este proceso de degradación de tierras modifica la cantidad y calidad de los bienes y servicios ecosistémicos. El Instituto Nacional de Ecología define a los servicios ecosistémicos como los beneficios intangibles que los diferentes ecosistemas ponen a disposición de la sociedad, ya sea de manera natural o por medio de su manejo sustentable (Monterroso et al., 2009). Los beneficios que ofrecen los bosques a nivel local, regional y en algunos casos a nivel mundial, derivan de su valor como fuente de abastecimiento de agua, centros de diversidad biológica, origen de diversos productos madereros y no madereros, lugar de recreación y estabilizadores del suelo frente a los procesos erosivos.

La cuenca hidrográfica es una unidad espacial compuesta de una gran diversidad de componentes bióticos y abióticos que interactúan entre sí. Desde el punto de vista hidrológico se define como el territorio que ocupa el río principal y sus afluentes, cuyos límites son definidos por la topografía del terreno a partir de las divisorias de aguas, también denominadas parteaguas. Desde una perspectiva ecológica, la cuenca hidrográfica constituye una unidad hidroespacial integrada por una red de drenaje jerarquizada, en el que se desarrollan complejas interrelaciones y procesos funcionales entre especies, poblaciones y comunidades entre si y con el ambiente fluvial de acuerdo a determinados factores hidrológicos y geomorfológicos (Pesce, 2010).

La cuenca Jamapa se ubica en la parte central del estado de Veracruz y al este del estado de Puebla, se cataloga como una cuenca exorreica ya que desembocan en el Golfo de México en el municipio de Boca del Río, Ver. Los afluentes de la cuenca Jamapa nacen del derretimiento de la nieve del Pico de Orizaba y fluyen aguas abajo recorriendo porciones de las altas montañas de Veracruz y de la llanura costera del Golfo Sur (CONAGUA, 2010). Debido al grado de deterioro ambiental el Instituto Nacional de Ecología incluye a la cuenca Jamapa dentro de la lista de las cuencas hidrográficas prioritarias de México por alteración de la dinámica funcional en un grado Extremo (Cotler et al., 2010). El objetivo de la presente investigación fue evaluar la degradación de tierras en la cuenca Jamapa.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Caracterización territorial.-** Los atributos del medio biofísico que se detallaron cartográficamente son: pendiente, aspecto, fisiografía, rocas, tipos de vegetación y uso actual del suelo, hidrología superficial, características del suelo, temperatura, precipitación y clasificación climática. La pendiente y el aspecto del terreno se generó de forma automatizada mediante el programa informático ArcGIS 10.1 con base en el modelo digital de elevación del terreno (INEGI, 2012), la pendiente resultante se clasificó en cinco intervalos expresados en porcentaje (0-2, 2-8, 8-15, 15-40 y >40) como lo establece Cortés et al. (2005). La fisiografía se detalló con base en la metodología del levantamiento fisiográfico (Ortiz, 1984) para lo cual se utilizó el modelo digital de elevación del terreno para así obtener la distribución espacial de los sistemas terrestres dentro de la región de estudio. Para la cartografía de geología física se obtuvo la cartografía digital de geología

física escala 1:250,000 (INEGI, 2005). Para la cartografía de la vegetación y el uso actual del suelo se utilizó la serie V de INEGI (2013).

Con respecto al medio socioeconómico de la región, se caracterizarán espacialmente las siguientes variables: población, núcleos agrarios, nivel de educación, servicios de salud, tipo de vivienda, actividades económicas. Las fuentes de esta información serán las bases de datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2005), el Sistema Nacional de Información Municipal (INAFED, 2010) del Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, así como los censos de población y vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2011).

**Evaluación de la degradación de tierras.-** Para la evaluación de la degradación de tierras en la cuenca ( $DT_{cuenca}$ ) se utilizó la siguiente expresión:

$$DT_{cuenca} = D_{sue} + D_{ag} + D_{atm} + D_{bio} + D_{soc}$$

Donde:  $D_{sue}$  es la degradación del suelo,  $D_{ag}$  es la degradación del agua,  $D_{atm}$  es la degradación de la atmósfera,  $D_{bio}$  es la degradación de la biodiversidad y  $D_{soc}$  es la degradación de sistema sociedad.

Para cuantificar cada una de las variables de la degradación de tierras se seleccionaron indicadores, los cuales se presentan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Indicadores por variable utilizados para evaluar la degradación de tierras.

Variable	Indicadores
Degradación del suelo	-DSue1. Riesgo de erosión hídrica
	-DSue2. Degradación física del suelo
Degradación del agua	-DAg1. Agua renovable
	-DAg2. Descarga de aguas residuales
Degradación de la atmósfera	-DAt1. Calidad del aire
	-DAt2. Vulnerabilidad al cambio climático
Degradación de la biodiversidad	-DBio1. Cambio de uso del suelo 1996-2012
	-DBio2. Calidad ecológica
Degradación del sistema sociedad	-DSoc1. Rezago social municipal 2010
	-DSoc2. Mortandad infantil

Una vez que se cartografiaron los indicadores se aplicó la siguiente expresión para obtener el índice de degradación de tierras (IDT):

$$IDT = 10 * \frac{Nivel\ del\ Indicador_i}{Nivel\ máximo\ del\ indicador_i}$$

En el Cuadro 2 se presentan los cinco niveles de degradación de tierras con base en el IDT.

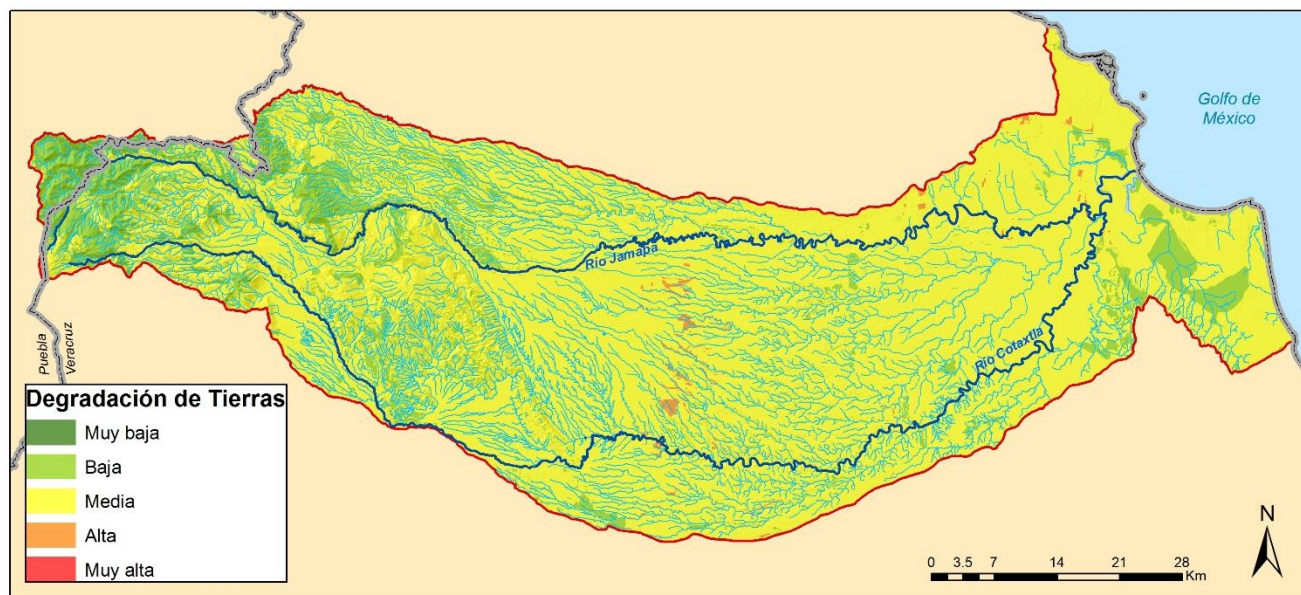
**Cuadro 2.** Indicadores utilizados para evaluar la degradación de tierras.

IDT	Degradación de Tierras
0 – 20	Muy baja
20 – 40	Baja
40 – 60	Media
60 – 80	Alta
80 - 100	Muy alta

### 3. RESULTADOS

En la Figura 1 se presenta la distribución espacial de la degradación de tierras en la cuenca Jamapa. La categoría Media es la que domina con el 88.9 % de la superficie total de la cuenca. Las categorías Baja y Alta se distribuyen en el 10.4 % y el 0.7 % respectivamente. Cabe señalar que no se registraron zonas con categorías Muy baja y Muy alta.

Las zonas con degradación Baja se ubican principalmente en la parte alta de la cuenca, por su parte, las zonas con degradación Alta se registran en la zona baja. Los principales factores que detonan el proceso de degradación de tierras en la cuenca Jamapa son la deforestación, el crecimiento poblacional, el cambio climático y los sistemas agropecuarios intensivos.



**Figura 1.** Degradación de tierras en la cuenca Jamapa.

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Con base en los resultados obtenidos se observa que la cuenca Jamapa registra de forma global un nivel de degradación de tierras moderado. La cabecera de cuenca, donde se genera la mayor captación de agua que alimenta la red hidrográfica, presenta un nivel de degradación bajo y moderado. En esta zona son los indicadores de riesgo de erosión hídrica y rezago social los que representan mayor problemática que podrían incrementar el nivel de degradación a futuro si no se atienden. En las zonas media y baja de la cuenca es donde se registra la mayor cantidad de superficie con degradación moderada. En estas áreas son los indicadores de calidad ecológica, descarga de aguas residuales y degradación física del suelo los que representan mayor riesgo de incremento de la degradación de tierras.

Con la perspectiva que nos ofrecen los resultados se recomienda establecer un programa de ordenamiento territorial en la cuenca a nivel de subcuenca y a nivel municipio para disminuir la degradación de tierras. Otra estrategia que se puede llevar a cabo, tomando en cuenta que el uso del suelo dominante en la cuenca es el agrícola y el pecuario, es establecer sistemas productivos diversificados y sustentables que permitan seguir obteniendo productos y que al mismo tiempo incrementen los servicios ambientales.

Las diversas estrategias que se deseen implementar en la cuenca deberán de tomar en cuenta a los diferentes sectores de la población presente: sociedad civil, gobiernos municipales y estatales, productores, académicos, ONG, entre otros. Así mismo es necesario hacer campañas de concientización bajo el enfoque de sistemas, haciendo énfasis en que las acciones que se lleven a cabo en una determinada zona de la cuenca pueden generar efectos, tanto positivos como negativos, en otros sitios.

#### **5. AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a la Universidad Autónoma Chapingo por el financiamiento recibido para el desarrollo de la presente investigación a través del Centro de Investigaciones para el Desarrollo de las Regiones Cafetaleras (CENIDERCAFE).

#### **6. LITERATURA CITADA**

- CONAGUA. 2010. Hidrología superficial de la República Mexicana escala 250,000. Comisión Nacional del Agua. México.
- CONAPO. 2005. Índice de marginación por localidad. Consejo Nacional de Población.
- Cotler, H., A. Garrido, V. Bunge y M.L. Cuevas. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: priorización y toma de decisiones. En: Cotler, H. (Coord.). Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización. Instituto Nacional de Ecología. México. p. 210-215.
- INAFED. 2010. Sistema Nacional de Información Municipal. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. México. (programa informático).
- INEGI. 2005. Conjunto de datos de geología escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. (cartografía digital).





# IV CONGRESO NACIONAL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 2016

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

- INEGI. 2011. Censo nacional de población y vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI. 2012. Continuo de elevaciones mexicano. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. (cartografía digital).
- INEGI. 2013. Conjunto de datos de uso de suelo y vegetación serie V escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. (cartografía digital).
- Monterroso, A.I., J.D. Gómez y J.A. Tinoco. 2009. Servicios ambientales hidrológicos bajo escenarios de cambio climático en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. Madera y Bosques 15(2): 5-26
- ONU. 1994. Convención internacional de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África. Organización de las Naciones Unidas. Francia.
- Ortiz, C.A. 1984. Metodología del levantamiento fisiográfico. Colegio de Postgraduados. México.
- Pesce, F. 2010. Aportes de la hidrología morfométrica a la ecología fluvial. Curso sobre Gestión Integrada de Cuencas. Universidad de la República. Uruguay.
- SEMARNAT. 2010. Estrategia nacional de manejo sustentable de tierras. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- SEMARNAT-CP. 2002. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Colegio de Postgraduados. México.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 337. Juan Pablo García González, José Antonio De La Cruz Hernández. ANÁLISIS DE EFECTIVIDAD DE ZANJAS TRINCHERA PARA LA RESTAURACIÓN DE CUENCAS EN DOS EJIDOS FORESTALES DE LA CUENCA ALTA DEL CUTZAMALA, EN VILLA DE ALLENDE, MÉXICO.

[Regresar al índice](#)

Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo

### **Resumen:**

En la región de estudio, en general, al realizar proyectos de establecimiento de zanjas trinchera, se sigue la sugerencia de 200 zanjas trinchera por ha, pero no se realiza una evaluación de estas obras más allá de la entrega del informe de los trabajos realizados, por lo que realmente se desconoce su efectividad en la restauración de cuencas. Este trabajo analizó la efectividad que han tenido las zanjas trincheras para restauración del suelo forestal en cuanto a captación de suelo, en dos predios con nivel de erosión ligera y moderada, mediante un muestreo del 10% de la superficie con estas obras, evaluando el estado de conservación de las zanjas y el volumen m<sup>3</sup> de azolve retenidos y comparándolo con el nivel de erosión que presentaba cada sitio.

Como resultado se obtuvo que la correlación entre el porcentaje de efectividad de las zanjas trinchera y la pendiente en el Ejido Buena Vista 23 fue de 0.96%, mientras que en el Ejido San Cayetano fue de 0.31%, encontrando que si la pendiente del terreno es mayor al 40 % la efectividad es directamente proporcional a la pendiente, pero si la pendiente es menor, la zanjas van perdiendo efectividad; por lo que al realizar obras en zonas que de antemano presentan un nivel ligero de degradación (con poca pendiente y pastizales) las zanjas no son efectivas en la captación de suelo, y más que contribuir a la restauración de la cuenca, propician la destrucción de la estructura del suelo y el uso inadecuado de recursos financieros y humanos.

Dado lo anterior, se sugiere establecer un esquema de trabajo de acuerdo a la topografía del terreno, reduciendo el número de zanjas a la mitad en zonas con poca pendiente; mientras que en lugares con mayor pendiente se debe aumentar la profundidad de las zanjas, así como reducir el tiempo de reconstrucción o mantenimiento a 3 años, sin esperar a que alcancen su llenado total, para así tener mayor efectividad en el control de la erosión y evitar el uso ineficiente de recursos para la restauración de cuencas.

**Palabras Clave:** Restauración de suelo forestal, control de erosión, captación de suelo, volumen de azolve



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Extenso ID: 64. Karen Velázquez Pedroza, Janette M. Murillo Jiménez, Enrique H. Nava Sánchez, Ana J. Marmolejo Rodríguez, Pedro Morales Puente. ARSÉNICO (AS) EN AGUA SUBTERRÁNEA DEL SUROESTE DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

<sup>a, b, c, d</sup> CICIMAR-IPN, Avda. IPN S/N, Col. Playa Palo de Sta. Rita, 23096 La Paz, B.C.S., México,

email: [nenaquim\\_25@hotmail.com](mailto:nenaquim_25@hotmail.com), [jmurillo@ipn.mx](mailto:jmurillo@ipn.mx), [enava@ipn.mx](mailto:enava@ipn.mx),  
[amarmole@hotmail.com](mailto:amarmole@hotmail.com)

<sup>e</sup>Instituto de geología UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México, México:  
[pedro\\_morales1@icloud.com](mailto:pedro_morales1@icloud.com)

## RESUMEN

La presencia del As en el agua subterránea, representan un problema a la salud humana. Este elemento puede estar presente en el agua por aportes de fuentes naturales y antropogénicas (ej. minería). El objetivo de este estudio es identificar si los desechos mineros abandonados por el Distrito Minero San Antonio-El Triunfo están contaminando el agua subterránea con este elemento. El área de estudio se localiza al suroeste de Baja California Sur, aproximadamente a 80 km al Sur de la ciudad de La Paz, delimitada en un polígono con coordenadas de 23.50 ° y 23.24° Latitud Norte y -109.94° y -110.30° Longitud Oeste. Se caracterizó el agua subterránea de las cuencas hidrológicas El Carrizal (EC), La Matanza (LM), La Paz (LP) y Santa Inés-La Muela (SIM), mediante la obtención de parámetros fisicoquímicos *in situ* de agua de pozos y el análisis químico para la obtención de concentraciones de iones mayoritarios y elementos potencialmente tóxicos, las mediciones se realizaron con Espectrofotometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente Thermo iCAP 6500 Duo. En el 2015 se muestrearon 30 pozos tanto en época de estiaje como lluvias. Los resultados se interpretaron con base en los criterios establecidos por la Organización Mundial Salud (2011). Como resultado la conductividad eléctrica excedió el límite máximo permisible de 1.4 mS cm<sup>-1</sup> en el 32% de las muestras de EC y el en 20% de LM. Las concentraciones de iones mayoritarios: Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en los pozos EC2 y LM20 superan el límite máximo de Na<sup>+</sup>:200, Cl<sup>-</sup>:250, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>:250 mg L<sup>-1</sup>. El 84% de los pozos en EC está contaminado con As, con valores mayores a 0.01 mg L<sup>-1</sup>. El Cd rebasa los 0.003 mg L<sup>-1</sup> en el pozo EC2. Las concentraciones de sales disueltas y As sugieren mayor contaminación en las cuencas hidrológicas EC y LM, seguidas de SIM y LP. Se infiere que los desechos mineros abandonados del Distrito Minero San Antonio-El Triunfo es la principal fuente de contaminación del As y Cd.

**Palabras clave:** Contaminación, Distrito Minero San Antonio-El Triunfo, cuencas hidrológicas, salud humana



## 1. INTRODUCCIÓN

El agua potable es un recurso vital para los seres vivos y escasa en todo el mundo, es un tema que preocupa al estado de Baja California Sur, por sus condiciones de aridez, aunado a que los acuíferos de la región presentan problemas de contaminación por el mineral de arsenopirita, el cual se ha liberado y mezclado en el agua por procesos naturales y antropogénicos (Carrillo et al., 2000., Bundschuh et al., 2012). En el estado de Baja California Sur se han identificado pozos de agua con concentraciones de arsénico hasta de  $2270 \mu\text{g L}^{-1}$  (CONAGUA, 2003), esto en parte relacionado a la presencia del mineral arsenopirita en rocas locales, y a la presencia de arsenolita, en desechos mineros. En el pasado el distrito minero San Antonio-El Triunfo dejaron residuos mineros que en la actualidad han afectado los sedimentos con altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (As; Cd, Hg, Pb, Sb y Zn). En la cuenca El Carrizal, el sedimento del arroyo Hondo-Las Gallinas-El Carrizal, el cual drena hacia el océano Pacífico, presenta concentraciones de arsénico total hasta de  $412 \text{ mg kg}^{-1}$  (Romero-Guadarrama, 2011). A lo largo de este arroyo, no se tiene información en agua de pozos sobre la concentración de este u otros elementos de riesgo para la salud, así como no se tiene información en los pozos de las cuencas hidrológicas aledañas, La Matanza, La Paz y Santa Inés-La Muela. Los sedimentos tienen una relación directa con los acuíferos porque al recargarse, primero el agua de la lluvia tiene contacto con el sedimento después pasa por el subsuelo para después infiltrarse a los acuíferos (Carrillo, 1996). En la zona de El Triunfo, se presentan pozos de agua con concentraciones de arsénico inorgánico hasta de  $410 \mu\text{g L}^{-1}$  (Carrillo, 1996). Esto representa un riesgo para la salud, como se ha demostrado en un estudio de arsénico urinario en pobladores de las cuencas de San Juan de Los Planes y El Carrizal (Colín, 2013; Colín et al., 2014), que presentan concentraciones hasta de  $398 \mu\text{g L}^{-1}$ , valores superiores al Índice Biológico de Exposición, considerados como de riesgo para la salud ( $35 \mu\text{g L}^{-1}$ , ACGIH, 2010). Por eso el interés de conocer la calidad del agua subterránea en la zona alta de la cuenca hidrológica El Carrizal y sus cuencas aledañas. La determinación fisicoquímica, iones mayoritarios y As y otros metales, nos ayudará a identificar y conocer si los desechos mineros en la superficie están contaminando el agua subterránea y su dirección de migración. Esta información será de utilidad para priorizar trabajos de remediación de suelos, prevenir la contaminación del agua y disminuir el riesgo en la salud de los asentamientos humanos.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza al suroeste de Baja California Sur, aproximadamente a 80 km al Sur de la ciudad de La Paz, delimitada en un polígono con coordenadas de  $23.50^\circ$  y  $23.24^\circ$  Latitud Norte y  $-109.94^\circ$  y  $-110.30^\circ$  Longitud Oeste. En este polígono están comprendidas principalmente las cuencas hidrológicas El Carrizal (EC) y las cuencas aledañas La Matanza (LM), La Paz (LP) y Santa Inés-La Muela (SIM) está última también llamada Cañada Honda en donde se encuentran los poblados mineros, El Triunfo 276 habitantes, El Rosario 67 habitantes y Valle Perdido con 19 habitantes (INEGI, 2005) (Figura 1).

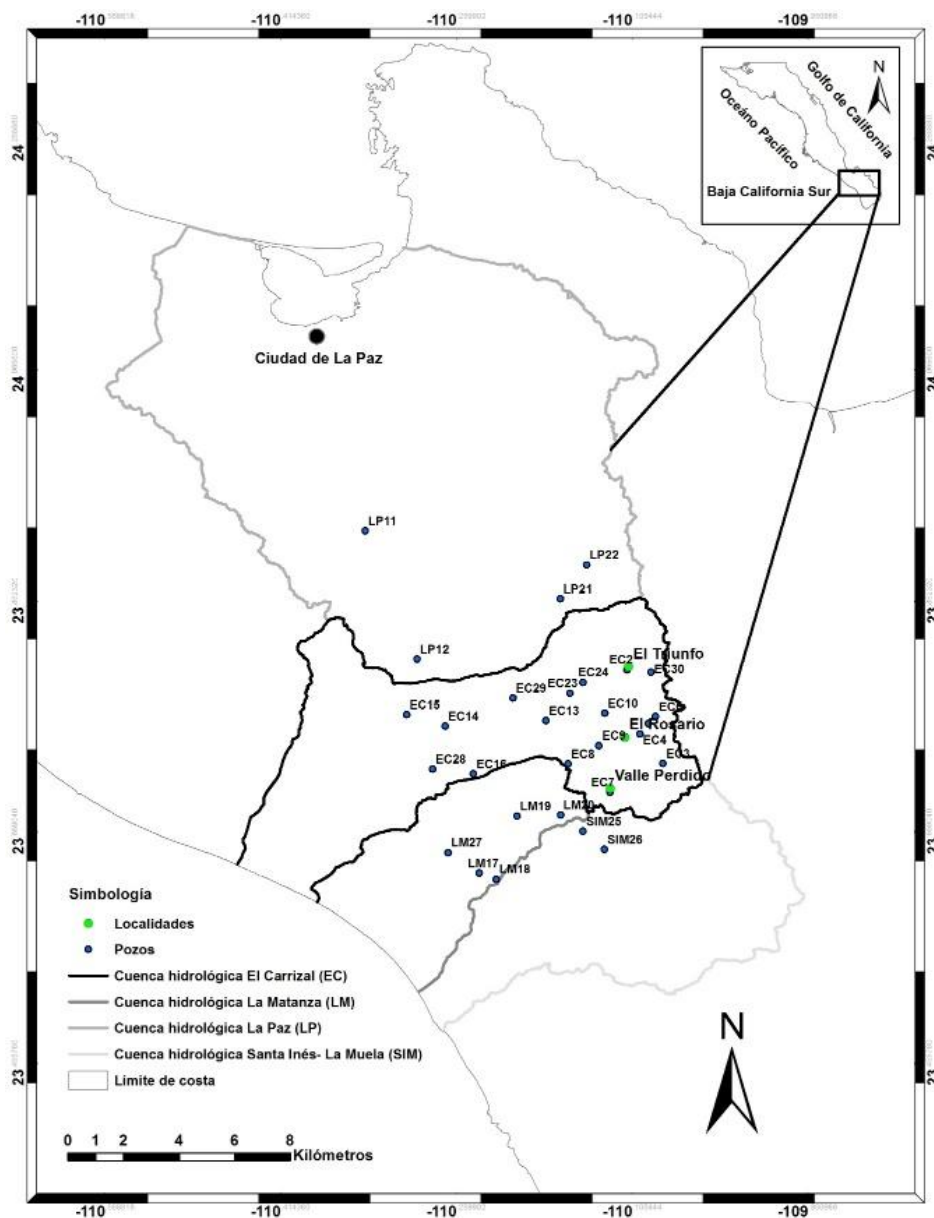


Figura 1. Localización del área de estudio y cuencas hidrológicas El Carrizal (EC), La Matanza (LM), La Paz (LP) y Santa Inés-La Muela (SIM) y pozos de agua muestreados.

## 2.2. Muestreo

En el año 2015, se muestrearon 30 pozos de agua subterránea, 19 pozos de la cuenca hidrológica EL Carrizal, y de las cuencas aledañas fueron 5 pozos de La Matanza, 4 pozos de La Paz y 2 pozos de Santa Inés-La Muela, en las zonas serranas y sus estribaciones, durante fechas





representativas de la época de estiaje (verano) y de la época de lluvias (invierno), obteniendo un total de 60 muestras. Para llevar a cabo el muestreo se siguió el método que establece la NOM-114-SSA1-1993. Las muestras se colectaron con ayuda de bombas de extracción o de forma manual con ayuda de un recipiente de 4 litros. En el campo, se obtuvieron los valores de pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto con el equipo HANNA HI9828, y se obtuvo el potencial redox con el equipo HANNA HI 98160. Las muestras para las determinaciones de cationes, As y Cd fueron filtradas mediante membranas de policarbonato ( $0.45\ \mu\text{m}$  de diámetro de poro), y posteriormente fueron preservadas con  $\text{HNO}_3$  concentrado (para obtener  $\text{pH} < 2$ ) de acuerdo a las especificaciones del método estándar propuesto para el análisis de agua superficial (APHA, AWWA; WEF, 1992). Las muestras para el análisis de aniones, después de colectarse no se filtraron y tampoco se preservaron con ácido, fueron almacenadas a  $4^\circ\text{C}$  para minimizar la actividad microbiana. Todas las muestras de agua se almacenaron en botellas de Polietileno de Alta Densidad, y se colocaron en una hielera conservando la temperatura de  $4^\circ\text{C}$  para su posterior traslado a los laboratorios.

### 2.3. Métodos de análisis

Los valores de temperatura, pH, conductividad eléctrica, aniones (alcalinidad, cloruros, nitratos y sulfatos) se obtuvieron de acuerdo a la metodología propuesta por APHA, AWWA, y WEF (1992). Para el análisis de cationes, As y Cd. Las muestras de agua fueron analizadas en el Laboratorio de Geoquímica de Aguas del Centro de Geociencias Aplicadas del Campus de Juriquilla, UNAM. Los análisis, fueron realizados de acuerdo al método EPA 200.7 “Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry”. La medición se realizó mediante un equipo de Espectrofotometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente Thermo iCAP 6500 Dúo. Para evaluar que la señal de este instrumento se encontrara dentro de un margen de error de  $\pm 10\%$ , se utilizó un patrón interno de itrio de 1 ppm. Con el objeto de obtener una curva de calibración del equipo, se prepararon 7 estándares con concentraciones diferentes, a partir de una solución estándar de 100 ppm de la marca Inorganic Ventures. Con los resultados se calcularon los coeficientes de correlación para las curvas de calibración de estos estándares, en donde las correlaciones presentaron valores mayores a 0.9990, con un porcentaje de recuperación mayor al 90%. La exactitud del equipo, se obtuvo con un Material de Referencia Estándar “NIST”, con clave 1643e (National Institute of Standards & Technology de Estados Unidos). Para validar el método se incluyó en el lote de muestras un estándar multielemental (muestra 31, IV-STOCK-18. Lote J2-MEB560042, Inorganic Ventures).

### 2.4. Procesamiento de datos

Para cada una de las cuencas hidrológicas (EC, 19 pozos; LM, 5 pozos; SIM, 2 pozos; LP, 4 pozos) se presentan los valores mínimos y máximos, así como el valor promedio y desviación estándar de cada parámetro fisicoquímico (pH, temperatura, conductividad eléctrica, Eh, oxígeno disuelto), de las concentraciones de iones mayoritarios ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,



$\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ) y las concentraciones de As y Cd representativos de la época de estiajes y de la época de lluvias, los cuales se muestran el promedio y la desviación estándar de forma gráfica en las Figuras 2, 3 y 4.

### 3 Resultados

En la figura 2. Se muestran gráficamente los resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua subterránea por cuenca hidrológica y estación, los resultados que muestran mayores variaciones, es el parámetro de la conductividad eléctrica, los pozos ubicados en la cuenca La Paz tienen valores menores, lo quiere decir que tienen menor cantidad de sales disueltas y estos valores no rebasan el límite máximo permisible por la WHO, 2011.

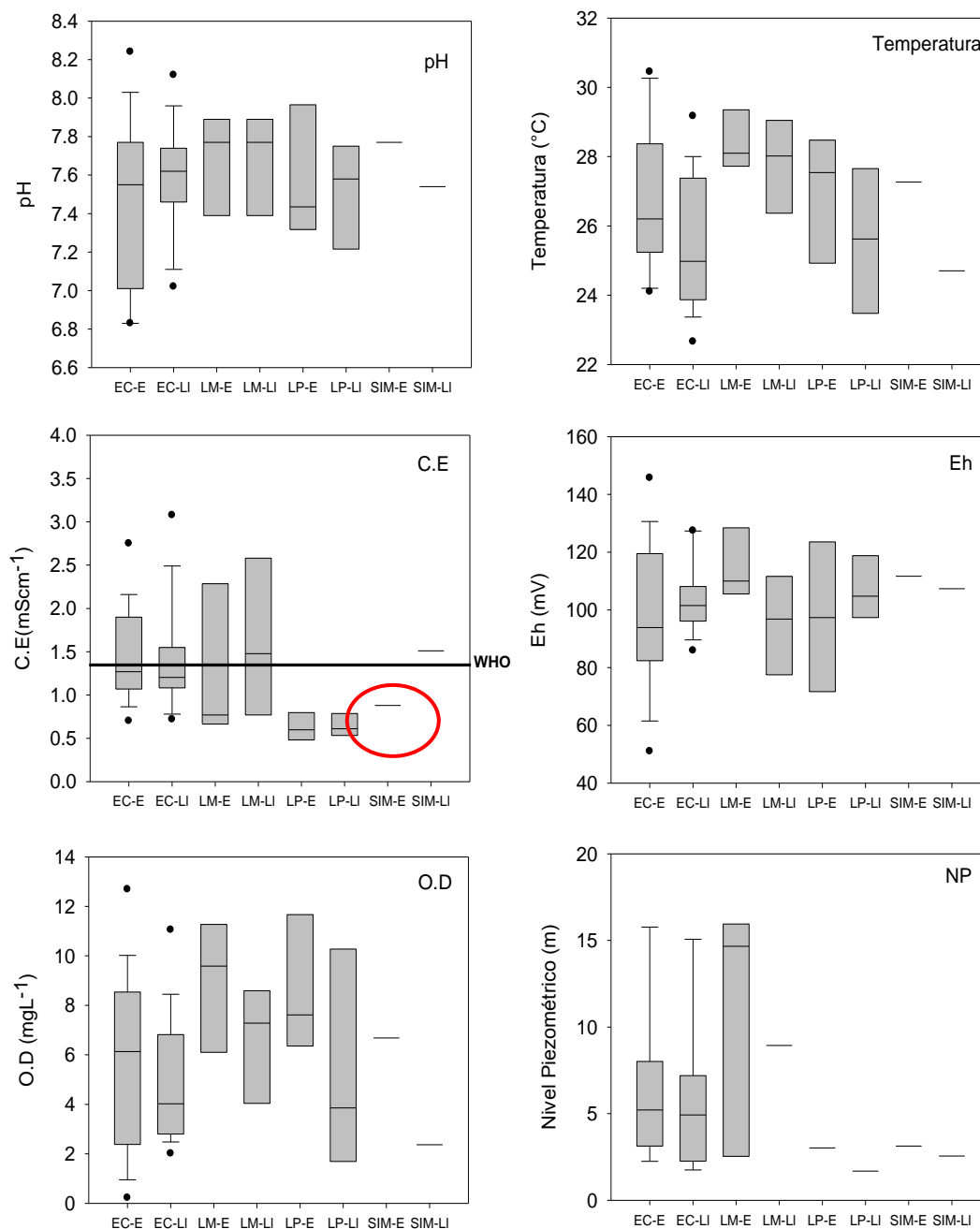


Figura 2. Parámetros fisicoquímicos determinados en aguas subterráneas en las cuencas hidrológicas El Carrizal (EC), La Matanza (LM), La Paz (LP), Santa Inés- La Muela (SIM), Estiaje y Lluvias(LI), WHO, 2011: Límite máximo permisible.

En la figura 3. Se muestran el Diagrama de Piper, con los resultados de los iones mayoritarios (meq L<sup>-1</sup>) del agua subterránea por cuenca hidrológica y estación, se grafican las 30 muestras

de agua subterránea en tiempo de estiaje y lluvias, el 97% de las muestras el catión predominante es el  $\text{Ca}^{2+}$ , el 3% es de  $\text{Na}^+$  para las muestras LM20 (Lluvias) y LP22 (Estiaje) estas muestras están remarcadas con círculos. El anión predominante es el  $\text{Cl}^-$  en 64% de las muestras,  $\text{HCO}_3^-$  en 33% y  $\text{SO}_4^{2-}$  únicamente el 3%. En lluvias se observa un incremento en las concentraciones de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ .

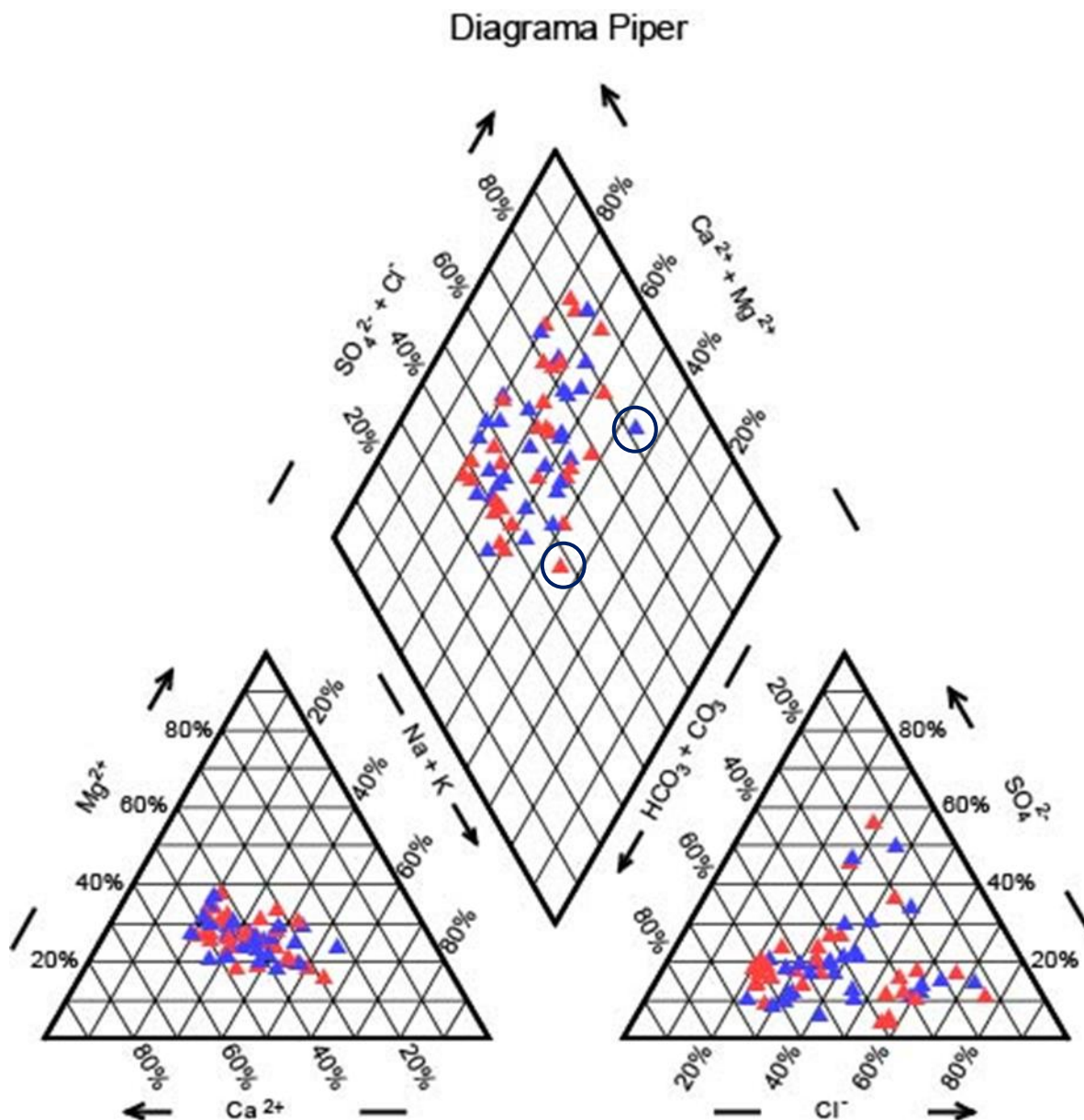


Figura 3. Diagrama de Piper, concentraciones de iones mayoritarios ( $\text{meq L}^{-1}$ ) para las temporadas de estiaje y lluvias del agua subterránea de las Cuencas Hidrológicas El Carrizal, La Matanza, La Paz y Santa Inés- La Muela.

En la figura 4. Se muestran gráficamente los resultados de As y Cd del agua subterránea por cuenca hidrológica y estación, las mayores concentraciones de As se observa en la cuenca El Carrizal, referente al Cd sólo encontró en los pozos de la cuenca El Carrizal y La Matanza en la temporada de estiaje.

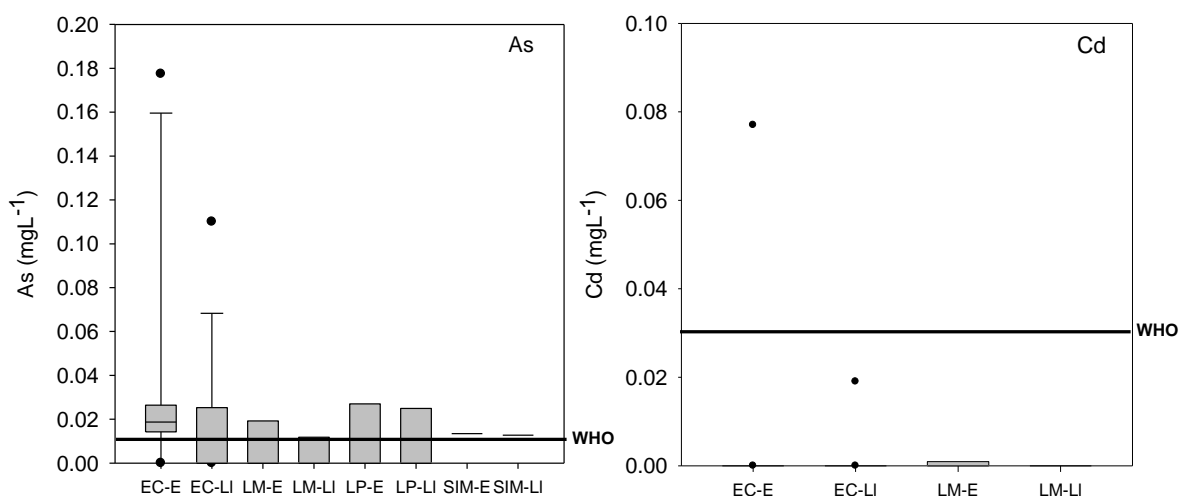


Figura 4. Concentración de As y Cd en agua subterránea en las cuencas hidrológicas El Carrizal (EC), La Matanza (LM), La Paz (LP), Santa Inés-La Muela (SIM), Estiaje (E) y Lluvias (LI), WHO: Límite máximo permisible.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Parámetros fisicoquímicos

Los valores de pH en el agua subterránea en todas las cuencas se presentan entre los rangos 6.83 a 8.24. No se observa una tendencia uniforme de variación entre temporadas. Todos los pozos de ambas épocas de muestreo están dentro de los valores límites máximos permisibles (6.5-8.5; WHO, 2011). Los valores de temperatura del agua subterránea de los pozos muestreados, en época de estiaje varían entre 24.10°C a 30.45°C (EC3 y EC28). Todos los pozos presentan temperatura mayor en estiaje y menor en lluvias. Debido a que las temperaturas son mayores en época de estiaje se infiere que la temperatura atmosférica es el principal factor que influye en la temperatura de los pozos, no hay temperaturas que se puedan relacionar a procesos de hidrotermalismo. La conductividad eléctrica varió sus valores entre 0.45 mS cm<sup>-1</sup> (LP21) a 3.39 mS cm<sup>-1</sup> (LM20). En la cuenca EC el 32 % de las muestras rebasan el valor límite máximo permisible (1.4 mS cm<sup>-1</sup>; WHO, 2011), con un valor máximo de 3.10 mS cm<sup>-1</sup>; en LM el 20% de las muestras tienen valores por arriba del límite máximo permisible, alcanzando un máximo de 3.39 mS cm<sup>-1</sup>. Las variaciones en la conductividad eléctrica del agua subterránea han sido atribuidas principalmente a procesos como intercambio iónico, evaporación del agua por el clima semiárido, intemperismo de silicatos, interacción roca-agua y/o procesos de oxidación de



sulfuros en la cuenca Tondiar (India; Ramesh and Elango, 2011). El potencial redox (Eh) presentó valores entre 51.00 mV (EC2) a 145.70 mV (EC23). En donde las mayores variaciones entre épocas de estiaje a lluvias se observaron en los pozos EC2, EC13, EC14, EC15, los cuales se ubican aledaños al arroyo Hondo Las Gallinas y los pozos EC7 y LP12 los cuales se ubican en la cuenca EC y LP respectivamente. Los pozos EC15 y LP12, se encuentran cercanos pero en cuencas diferentes, lo cual pudiera estar indicando comunicación en el flujo subterráneo. Las mayores variaciones en donde disminuyen los valores de estiaje a lluvias se presentan en los pozos EC1 y LM19. Para la obtención de la muestra la mayoría de los pozos se bombearon, por lo que puede haber un incremento de este parámetro, sin embargo se observa que los pozos que fueron bombeados en ambas épocas ya sea aumentan o disminuyen los valores. El potencial redox se relaciona con procesos de oxidación o reducción (Duan et al., 2015), en este estudio los procesos son de oxidación por los valores positivos, lo cual se le puede atribuir a que el agua antes de infiltrarse en el subsuelo corrió por los arroyos exponiéndose al oxígeno de la atmósfera. El oxígeno disuelto en la mayoría de los pozos presenta valores mayores de oxígeno disuelto en época de estiaje y menores en época de lluvia. La mayor diferencia entre épocas se observa en el pozo SIM25 (8.28 mg L<sup>-1</sup>) y LP21 (7.08 mg L<sup>-1</sup>), el resto de los pozos muestra variaciones menores a 4.65 mg L<sup>-1</sup>. La variación de las concentraciones de oxígeno disuelto se pueden deber a los procesos de recarga, cambios de nivel freático e interacción con el sustrato. El agua infiltrada en el subsuelo, está enriquecida de oxígeno de la atmósfera, con el ascenso del nivel freático, la capa vadosa reduce su espesor, lo que reduce el intercambio de gases con el agua. Los materiales del subsuelo al contacto con el agua reaccionan tomando oxígeno del agua, y reduciendo la concentración del mismo. Posteriormente debido a la extracción del agua, durante el bombeo se introduce oxígeno en el agua, además de que al disminuir el nivel freático va aumentando el espacio de la zona vadosa proporcionando oxígeno al agua. La profundidad del nivel freático en todas las cuencas, fue mayor en época de estiaje y menor en época de lluvias, lo que representa una recarga natural en todas las cuencas durante las lluvias. La profundidad promedio en época de estiaje y lluvias por cuenca fue de: EC (6.75±5.6 m, 5.85±5.1 m), LM (11.05±7.4 m, 8.94±3.2 m), LP (3.02±0.7 m, 1.68±1.3 m) y SIM (3.13±0.1 m, 2.56±1.1 m). Considerando la profundidad de los pozos que se midieron, la recarga fue entre 0.5 m hasta 7.99 m, valor máximo en la cuenca LM (LM19), seguido de las cuencas EC (EC24, 4.43 m), LP (LP22, 2.76 m) y SIM (SIM26, 1.75 m).

#### **4.2. Iones mayoritarios**

En las cuencas EC, LM y SIM el catión predominante fue el calcio y el anión predominante fueron los cloruros seguido de los bicarbonatos, lo que coincide con lo reportado en agua subterránea de la zona San Antonio-El Triunfo (Wurl et al., 2014). En la cuenca LP el catión predominante es el Na<sup>+</sup> y el anión predominante es el HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Esto nos indica que los tipos de rocas de esta zona son diferentes a las demás, la cuenca LP en la parte alta está compuesta por areniscas y conglomerados, gabros y granitos, y las otras cuencas en la parte alta presentan rocas metamórficas, intrusionadas por filones hidrotermales (INEGI, 1984). Las concentraciones menores de todos los iones fueron observadas en la parte alta de la cuenca LP. Las concentraciones más altas de K<sup>+</sup> y Mg<sup>2+</sup> se presentan en la cuenca LM en el pozo LM20 (K<sup>+</sup>: 111.90 mg L<sup>-1</sup> y Mg<sup>2+</sup>: 129.80 mg L<sup>-1</sup>), estos elementos no son regulados por la WHO. Las cuencas LP, LM y SIM tienen un comportamiento similar en K<sup>+</sup> y en los HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Las cuencas

LP y SIM tienen un comportamiento similar en el  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , y en los  $HCO_3^-$ . Las cuencas EC, SIM y LM tienen un comportamiento similar en los iones  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$  y  $SO_4^{2-}$ . La concentración de  $SO_4^{2-}$  se comporta de la misma manera en todas las cuencas. En la cuenca LP los valores de  $Ca^{2+}$  son de 1 a 2 veces menores que en el resto de las cuencas.

### **4.3. As y Cd**

#### **4.3.1. As**

En todas las cuencas los pozos que presentan arsénico están por arriba de la norma (WHO, 0.010 mg L<sup>-1</sup>), en donde las concentraciones varían entre 0.014 mg L<sup>-1</sup> a 0.041 mg L<sup>-1</sup>, exceptuando 2 pozos con concentraciones mayores entre 0.16 mg L<sup>-1</sup> (EC24) y 0.18 mg L<sup>-1</sup> (EC7). En la cuenca EC, 16 de 19 pozos presentaron arsénico, de los cuales 9 pozos presentaron As en época de estiaje (EC5, EC6, EC9, EC14, EC15, EC16, EC23, EC28, EC30) y 7 pozos presentaron As en época de lluvias y estiaje (EC1, EC2, EC4, EC7, EC8, EC10, EC24). En la cuenca LM, 2 de 5 pozos presentan As, LM17 en estiaje y LM27 en estiaje y lluvias. En la cuenca SIM, 1 de los 2 pozos muestreados presentan As, SIM25 en estiaje y en lluvias. En la cuenca LP, 1 de 4 pozos presenta As, L12 en estiaje y lluvias. En todas las cuencas, la mayoría de los pozos presenta concentraciones mayores de As en estiaje y menores en época de lluvias (15 pozos), excepto en algunos pozos en donde las concentraciones son menores en estiaje y mayores en lluvias (5 pozos). Los pozos que mostraron diferencias mayores entre épocas de estiaje y lluvia son el pozo EC7 con una diferencia de 0.067 mg L<sup>-1</sup> y el pozo EC24 con una diferencia de 0.091 mg L<sup>-1</sup>. El resto de los pozos mostró diferencias de 0.002 mg L<sup>-1</sup> a 0.024 mg L<sup>-1</sup>. Probablemente este comportamiento, se deba a que durante las lluvias algunos pozos tienen una mayor influencia de desechos mineros, ya sea por estar cercanos o sobre los arroyos que acarrean los desechos, y por otro lado después de lluvias el agua que se infiltra permanece un periodo largo de tiempo en contacto con el As de rocas, suelos contaminados y jales con arsenolita enriqueciendo de As en el agua subterránea. La presencia de arsénico en la parte alta de la cuenca de LP pudiera estar indicando un flujo del agua subterránea de la cuenca EC, ya que el conglomerado en esa zona tiene permeabilidad de media a alta, o puede ser también que el conglomerado tenga arsénico y al paso del agua se lixivía contaminando el agua, aunque será necesario tener información de un mayor número de pozos en la cuenca de LP y SIM, así como tener información de isótopos estables para confirmar las posibles conexiones entre cuencas.

#### **4.3.2. Cd**

La concentración de Cd en todas las cuencas no es detectable, con excepción de los pozos EC2 (estiaje 0.077 mg L<sup>-1</sup>, lluvia 0.019 mg L<sup>-1</sup>) y LM20 (estiaje, 0.002 mg L<sup>-1</sup>). De acuerdo al límite máximo permisible (0.003 mg L<sup>-1</sup>; WHO, 2011), el pozo EC2 rebasa la norma, éste se encuentra del arroyo Hondo-Las Gallinas-El Carrizal, el cual se ha demostrado que acarrea desechos mineros. En el área aledaña a este pozo, los jales mineros presentan concentraciones de 226 mg kg<sup>-1</sup> de Cadmio (Sánchez-Martínez et al., 2013). Un estudio realizado en Hubei, China, el valor máximo obtenido de Cd en agua subterránea fue de 0.38 mg L<sup>-1</sup>, mientras que en los sedimentos, contaminados por la actividad minera, la concentración de Cd fue de 2.59 mg kg<sup>-1</sup> (Cai et al., 2015), valor mucho menor al encontrado en los suelos aledaños al pozo EC2, por lo cual se infiere que este pozo está siendo contaminado por la lixiviación de desechos mineros.



Debido a la similitud en la composición geoquímica de las cuencas con excepción de la cuenca LP, en los parámetros de C.E, y las concentraciones de  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  y As, se infiere que los sedimentos contaminados de la parte alta de la cuenca EC, contaminan no solo el agua subterránea de esta cuenca sino también el agua subterránea de la cuenca LM, que está al sur y a un nivel topográfico más bajo. Esto a su vez permite inferir que existe a través de un flujo de agua subterránea de la parte alta de EC hacia la parte alta de la cuenca LM. La relación entre cuencas se podría corroborar con otras líneas de investigación, mediante isótopos estables como oxígeno y deuterio, y con simuladores de flujos.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la M en C. Carolina Muñoz Torres del Laboratorio de Geoquímica de Aguas del Centro de Geociencias Campus Juriquilla, UNAM, M en C. Víctor Carrasco Chávez del Laboratorio de Química Marina CICIMAR-IPN, Dr. Jobst Wurl de la UABCS, Dr. Arturo Cruz Falcón CIBNOR y al Proyecto BEIFI 20161201 IPN.

## 6. LITERATURA CITADA

- APHA. AWWA. WPCE. (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater, 19 th Ed. Washington D.C.
- ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2010). Threshold Limit Values (TLVs) for chemical substances and physical agents and biological exposure indices (BEIs), pág. 210.
- Bundschuh, J., Litter, M., Parvez, F., Román, R., Nicolli, H., Jean, J-S., Liu, C-W., López, D. (2012). Once century of arsenic exposure in Latin America A review of history and occurrence from 14 countries: Science of the Total Environment, (429), 2-35. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.06.024
- Cai L-M., Zhen C.X., Jian Y.Q., Zhi Z.F., Ting S.X. (2015). Assessment of exposure to heavy metals and health risks among residents near Tonglushan mine in Hubei, China: Chemosphere, (127), 127-135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.01.027>
- Carrillo-Chávez, A. (1996). Environmental geochemistry of the San Antonio-El Triunfo mining area, southernmost Baja California Peninsula Mexico. (Ph. D. Thesis). Department of Geology and Geophysics, University of Wyoming, Laramie, Wyoming USA, pág. 186.
- Carrillo, A., Drever, J.J and Martínez, M. (2000). Arsenic content and groundwater geochemistry of the San Antonio-El Triunfo, Carrizal and Los Planes aquifers in southernmost Baja California, México: Environmental Geology, (39), 1295-1303.



- Colín-Torres C.G. (2013). Concentraciones urinarias de arsénico en habitantes de la Cuenca Hidrográfica de San Juan de Los Planes BCS México. (Tesis de especialidad), UNAM, pág. 110. <http://132.248.9.195/ptd2013/junio/0696723/Index.html>
- Colín-Torres, C. G., Murillo-Jiménez J.M., Del Razo, L.M., Sánchez-Peña, L.C., Becerra-Rueda, O.F., Marmolejo-Rodríguez, A.J. (2014). Urinary arsenic levels influenced by abandoned mine tailings in the Southernmost Baja California Peninsula, Mexico: Environmental Geochemistry and Health, (36), 845-854.
- DOI 10.1007/s10653-014-9603-x
- CONAGUA. (2003). Estudio de caracterización de la intrusión salina en el Acuífero de Los Planes, BCS. Comisión Nacional del Agua. Gerencia regional de la península de Baja California. Gerencia Estatal en Baja California Sur, pág. 525.
- Duan Y., Gan Y., Wang Y., Deng Y., Guo X., Dong C. (2015). Temporal variation of groundwater level and arsenic concentration at Jiangnan Plain, central China: Journal of Geochemical Exploration, (149), 106-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.001>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2001). Method 200.7: Trace elements in water, solids, and biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, Office of Science and Technology Ariel Rios Building 1200 Pennsylvania Avenue, N.W. Washington, D.C. 20460, pág 68.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1984). Carta Geológica, La Paz G12-10-11, escala 1:250 000. Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1 mapa.
- NOM-014-1993. "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados".
- Ramesh, K and Elango, L. (2011). Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India, Environ Monit Assess, (184), 3887-3899. DOI 10.1007/s10661-011-2231-3
- Romero-Guadarrama J.A. (2011). Geoquímica de As, Hg, Pb y Zn y mineralogía en sedimentos superficiales de la cuenca de drenaje del distrito minero El Triunfo, BCS México. (Tesis de Maestría). CICIMAR-IPN, pág. 115.
- Sánchez-Martínez, Martha A., Marmolejo-Rodríguez, A.J., Magallanes-Ordóñez, Víctor R., Sánchez-González, A., 2013a, Vertical accumulation of potential toxic elements in a semiarid system that is influenced by an abandoned gold mine: Estuarine, Coastal and Shelf Science, (130), 42-53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2013.03.017>
- World Health Organization (WHO). (2011). Guidelines for drinking-water quality, fourth ed. World Health Organization, Geneva, pág. 564.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

- Wurl J., Mendez-Rodriguez L., Acosta-Vargas B. (2014). Arsenic content in groundwater from the southern part of the San Antonio-El Triunfo mining district, Baja California Sur, Mexico: Journal of Hydrology, (518), 447-459.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.009>





Extenso ID: 6. Jorge Izurieta Dávila, Perla Alonso Eguía Lis, Yolanda Pica Granados, Pedro Rivera Ruíz, Gabriela Mantilla Morales, Antonio Ramírez González, Rubén Dario Hernández López. CONTAMINACIÓN EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO ATOYAC, OAXACA

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, izurieta@tlaloc.imta.mx

<sup>b</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, palonso@tlaloc.imta.mx

<sup>c,d,e,f,g</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

## RESUMEN

Se efectuó un diagnóstico de la calidad del agua en la cuenca alta del río Atoyac en el Estado de Oaxaca. En esta cuenca se asientan la Ciudad de Oaxaca y las localidades de Mitla, Ejutla, Etla, Ocotlán y Tlacolula con una población de 1,008,100 habitantes (INEGI 2010). Veintiuna localidades cuentan con plantas de tratamiento. Para evaluar la calidad del agua en el río Atoyac y sus afluentes, se realizó una campaña de muestreo en Noviembre de 2013, en 18 estaciones de monitoreo en ríos y afluentes y 22 en descargas. Se efectuó la selección de parámetros convencionales y no convencionales entre los que se encuentran plaguicidas clorados y fosforados, toxicidad, indicadores biológicos y barrido de compuestos orgánicos en y sedimentos.

De las 21 descargas monitoreadas, se obtuvieron incumplimiento del límite permisible establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 para uso Público Urbano, en los siguientes parámetros: DQO en 17 descargas, DBO5 en 13, SST en 12, Materia flotante en 12, Grasas y aceites en 10, Coliformes fecales en 9, Sólidos sedimentables en 8 y Nitrógeno Total en 2.

El río Atoyac presenta cargas de contaminantes por encima de las asimilables. Es el caso del Fósforo, los Nitratos, los Sólidos Disueltos Totales, los Sólidos Suspendidos Totales, los Sólidos Totales, el Aluminio, el Hierro, el Manganeseo, las Grasas y Aceites, los Sulfuros, las SAAM y los Coliformes Fecales. Al final de la cuenca en el sitio denominado Paso Ancho, los parámetros que exceden la carga admisible del río Atoyac son el Fósforo Total con 604 kg/día, Nitratos con 173 kg/día, Aluminio con 110 kg/día y Sulfuros con 7.3 ton/día.

Los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos, de compuestos orgánicos, toxicidad e indicadores biológicos, indican que la problemática de contaminación en el río Atoyac está asociada directamente con las descargas de las localidades que se asientan principalmente en la parte media de la cuenca, y la infraestructura de saneamiento actual que en su mayoría se encontró fuera de operación.

**Palabras clave:** Contaminación, Cuenca, Río Atoyac, Oaxaca,

## 1 INTRODUCCIÓN

Los ríos Atoyac y Salado presentan alteración en su calidad del agua atribuibles al desarrollo agrícola, industrial y socioeconómico, así como a los altos niveles de deforestación en sus cuencas de aportación. En estas subcuencas se asienta aproximadamente el 50% de la población del Estado de Oaxaca. A la fecha no existe un estudio que permita conocer las principales fuentes de aportación puntuales de contaminación a estas corrientes. El conocimiento de la capacidad de asimilación y dilución permite determinar las cargas máximas de contaminantes que puede captar un cuerpo receptor sin alterar las metas de calidad en función al uso que está asignado el cuerpo receptor. Conocer lo anterior es sumamente importante ya que con esta información se pueden definir las características de los sistemas de tratamiento de las descargas en estas subcuencas, de manera que se cumplan los criterios de calidad vigentes.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio se localiza en el estado de Oaxaca, y cubre gran parte de la subcuenca hidrográfica RH20Ac, con un área de 5,664.4 km<sup>2</sup>, Figura 1.

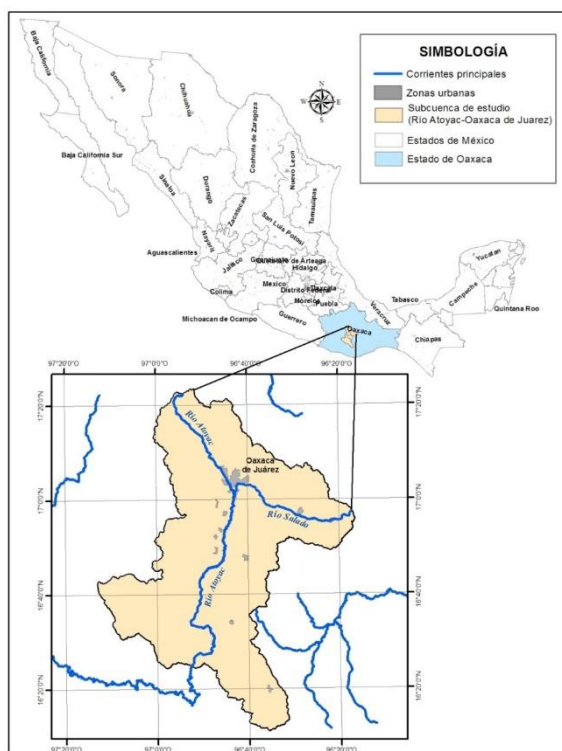
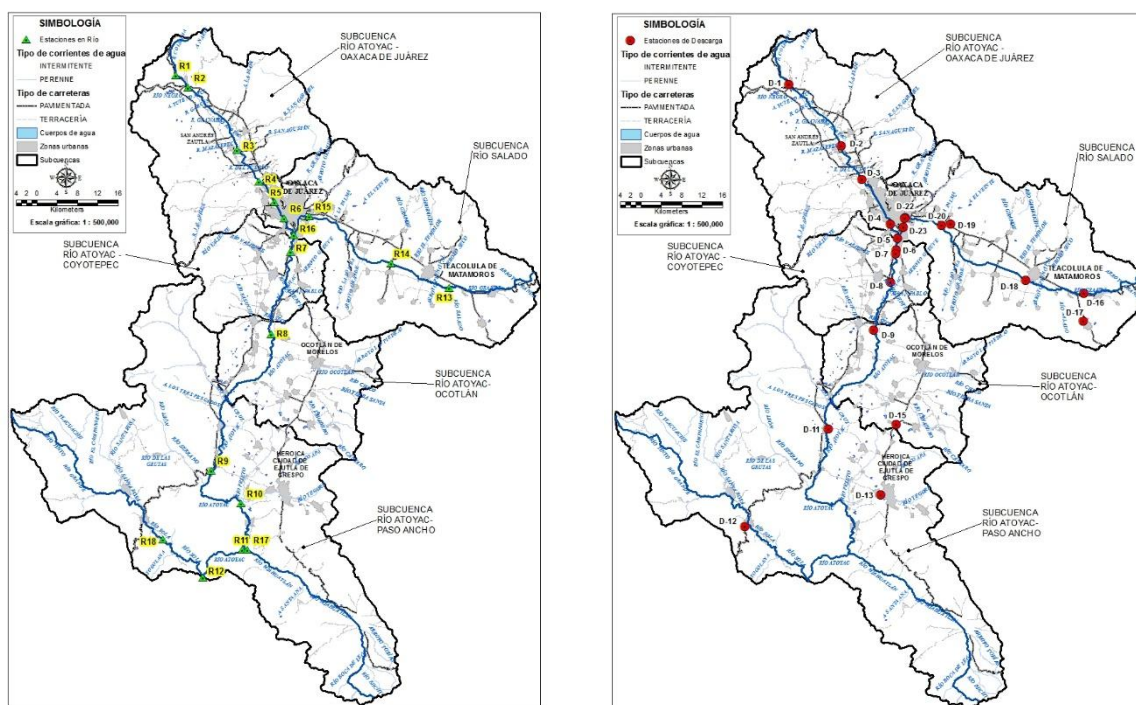


Figura 1. Ubicación de área de estudio y confluencia de los ríos Atoyac y Sola

## Campañas de muestreo y aforo

En base a los recorridos de campo efectuados durante una visita prospectiva con el apoyo de personal del Organismo de Cuenca de CONAGUA, y con información de los estudios antecedentes, se elaboró el programa de muestreo y aforo. Los sitios fueron divididos en estaciones en río y en descargas, Figuras 2 y 3. La corriente principal es el río Atoyac y recibe la aportación de tres afluentes principales, estos son el río Salado, el río Sola y el río Miahuatlán.



Figuras 2 y 3. Ubicación de sitios de muestreo en río, afluentes y descargas

Los parámetros determinados fueron; En Campo, pH, Temperatura del Agua y del Ambiente, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Cloro Residual, Turbiedad, Materia Flotante; En Laboratorio, Alcalinidad Total, Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días, Demanda Química de Oxígeno, Carbón Orgánico Total, Cianuro Totales, Sólidos Totales, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Disueltos Totales, Nitrógeno (Amoniacal, Orgánico, Nitratos, Nitritos y Total), Fósforo Total, Fósforo Orgánico, Fósforo Inorgánico Disuelto y Ortofosfatos, Grasas y Aceites, Dureza Total, Color Verdadero, Cloruros, Sulfatos, Sulfuros, Fluoruros, Sustancias Activas al Azul de Metileno, Coliformes Fecales, Arsénico Total, Boro, Cadmio, Cobre, Cromo Hexavalente, Mercurio, Níquel, Plomo, Zinc, Fenoles, Toxicidad (*Vibrio fischeri*), Indicadores Biológicos (Macroinvertebrados).

En doce sitios ubicados en los ríos Atoyac y Salado se determinarán Plaguicidas Clorados (EPA-8081A 1996) y Fosforados (EPA-8141B-1998). En ocho sitios se tomaron muestras de sedimentos para determinar Metales (Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel,



Plomo y Zinc), Plaguicidas Clorados y Fosforados, Materia Orgánica y Composición Granulométrica.

Se efectuaron aforos en todos los sitios de muestreo (río Atoyac, afluentes, y descargas de aguas residuales. Para el modelo de simulación de calidad del agua, se levantó información de las características hidráulicas de las secciones seleccionadas en los ríos y afluentes (área de la sección transversal, velocidad del agua, tirante, pendiente, rugosidad, etc.).

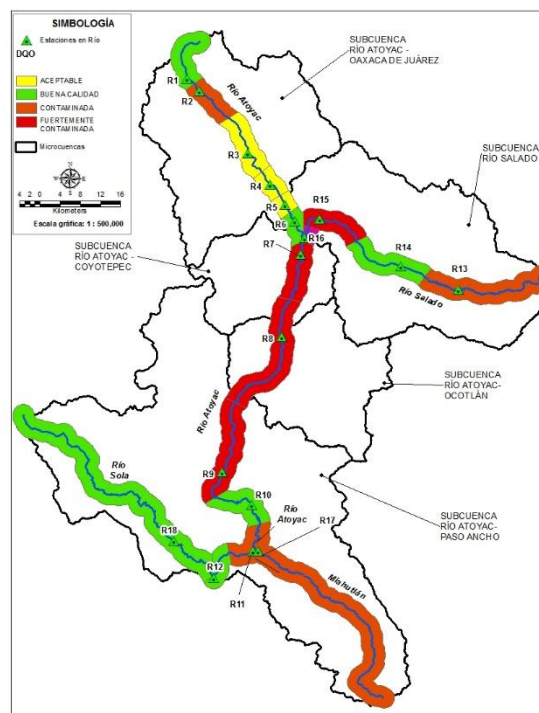
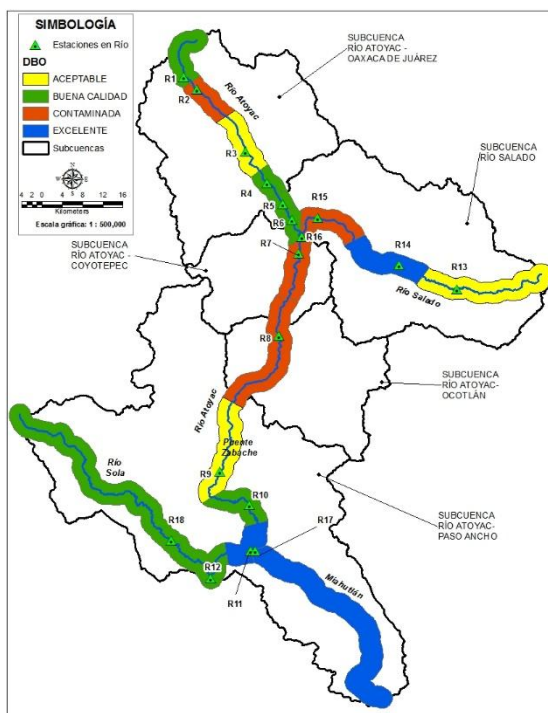
Los trabajos de muestreo y aforo, así como los análisis de calidad del agua se realizaron por laboratorios y personal acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C. y aprobado por la CONAGUA. Las técnicas analíticas y los límites de cuantificación reportados por los laboratorios, permitieron evaluar los resultados con respecto a los valores más exigentes establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89).

### 3 RESULTADOS

Con respecto a la calidad del agua en el río Atoyac y considerando los criterios de calidad del agua de CONAGUA para DBO, DQO y SST, se tiene que las zonas críticas del río Atoyac, se presentan en la zona de descargas de las comunidades Etla (Reyes, Nazareno, Soledad y Guadalupe), en el tramo que forma la parte conurbada de la Ciudad de Oaxaca tanto en la parte del río Atoyac como en el río Salado, desde Fraccionamiento Esmeralda hasta Zimatlán en el caso de la DBO, y hasta Zabache en el caso de la DQO. En el río Salado la problemática se presenta desde Santa María del Tule hasta la confluencia, y en la parte alta desde las comunidades de Mitla y Matatlán y hasta Tlacolula con respecto a la DQO, Figuras 4 y 5. Otros parámetros que superan los criterios de calidad del agua, son el Oxígeno Disuelto que presenta valores por debajo de 4 mg/l entre R7 a R9, los Sólidos Disueltos Totales en el mismo tramo, el Color en R5 y de acuerdo a la NOM-127, en el tramo entre R4 a R9. El Fósforo total supera en todas las estaciones el valor del criterio de calidad, las Grasas y Aceites en R3 y en el tramo de R7 a R8, SAAM de acuerdo a la NOM-127 presenta valores críticos en R2 y en el tramo de R7 a R9. Los Fenoles superan el criterio en la estación R7, la Alcalinidad en el tramo de R7 a R9, los Coliformes Fecales en el tramo de R4 a R10 excepto en R7 y R9, el Aluminio en el tramo de R4 a R6 y en los sitios R10 y R12. El Aluminio para la NOM-127 supera el valor crítico en el tramo entre R4 y R6 y en R10 y el Arsénico en R8. El Hierro Supera el criterio entre R4 y R9, el Manganeseo en el tramo entre R2 y R11, y con respecto a la NOM-127, supera el valor recomendado en el tramo entre R2 y R9.

Se destacan dos zonas del río Atoyac y Salado que presentan descargas con un alto grado de incumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (de 5 a 7 parámetros fuera de norma), en el río Atoyac la descarga D-1, así como el tramo de descargas de D-4 a D-8 (excepto D-6); y sobre el río El Salado, el tramo de descargas de D-18 a D-22. Se observa un alto grado de incumplimiento en los siguientes parámetros (del total de 21 descargas); DQO (en 17 descargas), DBO5 (en 13), SST (en 12), Materia Flotante (en 12) y Grasas y Aceites (en 10).





Figuras 4 y 5. Condiciones de calidad del agua, criterios de calidad del agua de CONAGUA, DBO y DQO

El río Atoyac presenta cargas de contaminantes por encima de las asimilables. Es el caso del Fósforo, los Nitratos, los Sólidos Disueltos Totales, los Sólidos Suspendidos Totales, los Sólidos Totales, el Aluminio, el Hierro, el Manganeseo, las Grasas y Aceites, los Sulfuros, las SAAM y los Coliformes Fecales. En el sitio Paso Ancho, los parámetros que exceden la carga admisible del río Atoyac son, Fósforo Total (604 kg/día), Nitratos (173 kg/día), Aluminio (110 kg/día) y Sulfuros (7.3 ton/día).

Se efectuó la evaluación mediante indicadores biológicos, y la calidad del agua de acuerdo al índice IBH en las partes altas del río Atoyac, se encuentran en buenas condiciones, sin embargo disminuye su calidad en la parte media de la cuenca después de las descargas de la Ciudad de Oaxaca y localidades conurbadas, en el tramo comprendido entre San Juan Bautista y San Martín Lachila. Estos sitios resultaron con contaminación severa de acuerdo al IBH, puesto que los organismos detectados se encuentran adaptados a condiciones en las que la cantidad de oxígeno es pobre y se han clasificado como organismos muy tolerantes a la contaminación orgánica, además los valores del índice de Shannon y riqueza, nos indican que ya no existe diversidad en esa parte del río; es decir el sistema se encuentra en un estado de degradación muy severa. En la parte baja de la cuenca, la calidad del agua muestra una clara mejoría ya que el río Atoyac, recibe los aportes de dos afluentes importantes, los Ríos Miahuatlán y Sola, que se encuentran en muy buenas condiciones de calidad y de estructura de la comunidad.

El análisis de toxicidad, señala a dos sitios sobre el río como áreas afectadas por contaminación química tóxica. Las estaciones R7 y R15, que están ubicadas en el área de confluencia del





Atoyac con el río Salado, lugar donde se ubican las descargas de la Cd. de Oaxaca, y las descargas municipales D-21 y 22.

En lo que respecta al análisis de los compuestos orgánicos semivolátiles, efectuado en las estaciones R7, R8 y R12 y en sedimento, el Bis-2-Etil hexil ftalato, excede el LMP (límite máximo permisible) para protección de vida acuática en los sitios R7 y R8, sin embargo el valor está por debajo del límite establecido para fuente de abastecimiento. De igual manera el Fenol en R7 y R8, excede el LMP para fuente de suministro.

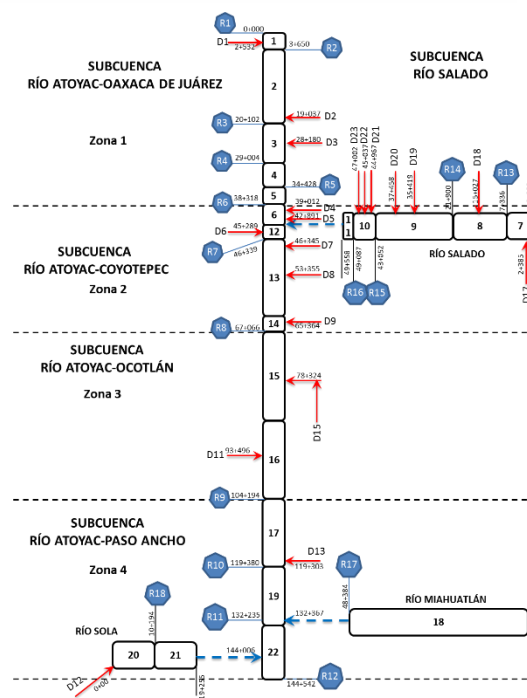
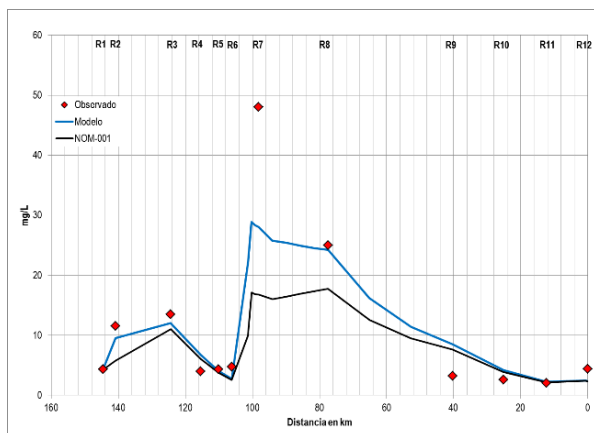
Con respecto al barrido de Compuestos Orgánicos Semi Volátiles, se pudieron identificar un total de 58 compuestos en las estaciones de río R7 y R8. Al final de la cuenca, en la estación R12 en Paso Ancho, esta cantidad se redujo a cuatro compuestos, lo cual sugiere que el río Atoyac, en su trayecto de Zimatlán a Paso Ancho, se auto depura de forma importante, reduciendo la carga contaminante que afecta a los sitios R7 y R8.

Se modeló la calidad del agua usando la herramienta QUAL2K para las condiciones del muestreo. Se efectuó la modelación con las condiciones de descarga dadas por la NOM-001-1996-SEMARNAT para uso de Público Urbano. Comparando las condiciones actuales con la aplicación de la NOM-001-1996-SEMARNAT en las descargas, se observa que para el caso de la DBO, SST, Coliformes Fecales y Nitrógeno Total, el solo hecho de dar cumplimiento a la NOM-001-1996-SEMARNAT, la calidad del agua tanto en el río Atoyac como en el Salado se verían mejoradas, Figuras 6 y 7.

Los resultados del modelo de contaminación por fuentes no puntuales indican que en promedio en el sitio R12 en Paso Ancho, la cuenca transporta 3,770 y 425 toneladas anuales de Nitrógeno y Fósforo respectivamente.

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

La problemática de contaminación en el río Atoyac está asociada directamente con las descargas de las localidades que se asientan a lo largo del río y sus afluentes, y la infraestructura de saneamiento actual en su mayoría se encontró fuera de operación. Considerando los patrones de distribución de contaminantes, toxicidad y el análisis de COSV encontrados en este estudio, puede decirse que el aporte de contaminantes que provienen de las descargas municipales, aportan carga química tóxica con un gran variedad de sustancia sintéticas que puede comprometer la capacidad de asimilación del sistema, especialmente en el sector urbanizado donde se asienta la Cd. de Oaxaca, así como en los municipios de Sachila y Zimatlán. Aunque el problema principal aparentemente está acotado en la parte de media de la cuenca, se encontró incumplimiento de los criterios para un par de contaminantes al final de la cuenca. No obstante la parte baja de la cuenca, la calidad del agua muestra una clara mejoría ya que el río Atoyac, recibe los aportes de dos afluentes importantes, los Ríos Miahuatlán y Sola, y escurrimientos de zonas de manantiales que se encuentran en muy buenas condiciones de calidad, y en



Figuras 6 y 7. Resultados del modelo QUAL2K para DBO y esquema unifilar del río Atoyac

la estructura de la comunidad, lo cual nos habla de la presencia de resiliencia del río, observando que el sistema de afluentes tributarios forman parte importante en la sostenibilidad del río Atoyac.

Es conveniente extender el alcance del presente trabajo mediante campañas de muestreo adicionales de muestreo que permitan evaluar la respuesta de la cuenca estacionalmente tanto en estiaje como en lluvias.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue promovido por el Organismo de Cuenca Pacífico Sur de la CONAGUA bajo el convenio de colaboración SGAPDS-OCPS-OAX-13-TT-003-RF-CC, con el nombre Estudio para la Detección de Fuentes Contaminantes por Descargas de Agua Residual al Río Atoyac entre la Ciudad de Oaxaca y el Sitio de la Presa “Paso Ancho”.

## 6. LITERATURA CITADA

- Allan, J. D. y Castillo, M. M. 1995. Stream Ecology: Structure and function of Running Waters. Second Edition. Springer. 429 pp.
- Aguayo S, Muñoz MJ, de la Torre A, Roset J, de la Peña E, Carballo M. 2004. Identification of organic compounds and ecotoxicological assessment of sewage treatment plants (STP) effluents. Sci Total Environ. 26; 328(1-3):69-81.
- Barbour, M. T.; J. Gerritsen; B. D. Zinder and J. B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic



Macroinvertebrates and Fish. Second Edition. EPA 841 – B41-99-002. U. S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, D.C.

- CCE-CCA-001-1989. Criterios ecológicos de calidad del agua. SEDUE, CNA. Diario Oficial. 1989.
- Cummins KW. 1996. Invertebrates. In River Biota. Diversity and Dynamics, Petts G, Calow P (eds). Blackwell Science: Oxford; 75–91.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1991. Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluent and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms: 4th Ed: Weber, C.I., Ed. EPA-600/4-90-027.
- Jiménez, C.B. 2001. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA, México, D.F. 315 pp.
- McNeely, R.N., Neimanis, V.P., and Dwyer, L. 1979. Water Quality Sourcebook. A Guide to Water Quality Parameters. Inland Waters Directorate. Water Quality Branch. Ottawa.
- Metcalf & Eddy, 2003. Wastewater Engineering. Treatment and Reuse. McGraw Hill. Fourth Edition. Boston. 27-151.



Extenso ID: 330. Marco Antonio Mijangos Carro, Luis Alberto Bravo-Inclán, Rebeca González Villela, Mauricio Alba Uriostegui, Barry Michael Evans. ESTUDIO DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN PUNTUAL Y DIFUSA SUBCUENCA DEL LAGO DE TIXTLA, GUERRERO, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

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

C.P. 62550, email: [mijangos@tlaloc.imta.mx](mailto:mijangos@tlaloc.imta.mx)

<sup>b</sup> Universidad Estatal de Pennsylvania, 201 Old Main, University Park, Pennsylvania, EE. UU.  
email: [bme1@psu.edu](mailto:bme1@psu.edu)

## RESUMEN

El área de captación de la subcuenca del lago de Tixtla Guerrero es de 78.15 km<sup>2</sup>. Se estimó la aportación de nitrógeno y fósforo total, erosión y sedimentos de las fuentes de contaminación puntuales y difusas, procedentes de cinco microcuencas, con el propósito de identificar las áreas críticas. Con ello, se plantea generar las prácticas de conservación para reducir la contaminación y detener el proceso de eutroficación del lago. Se aplicó el modelo MapShed para estimar las cargas y fuentes de contaminación por nutrientes durante un periodo de simulación de 11 años. Los resultados muestran que la contribución total anual de nitrógeno de las fuentes puntuales fue de 2.43 ton y de la contaminación difusa 83.37 ton; las cargas de fósforo fueron de 1.73 y 3.23 ton, respectivamente. Las microcuencas con usos de suelo agrícola y pecuario predominaron (70.44 % de superficie total) y representaron un alto porcentaje de la carga de nitrógeno y fosforo (59.34% y 2.32%, respectivamente). Por otro lado, las microcuencas de Coxtlapa y Jaltipan comprenden aproximadamente 20.07 % de la superficie total de captación (área suburbana más poblada que contribuye con el 1.56% de la carga de nitrógeno y 0.64 % de fosforo). Las fuentes puntuales de nitrógeno y de fósforo de las localidades contribuyen con el 2.43% y 1.73% respectivamente. La erosión y los sedimentos contribuyeron con 19,120 ton y 3,640 ton respectivamente; las microcuencas con mayor erosión fueron Tezahuapa con 7,338 ton equivalente al 38.38% y Cocuilpa con 7,083 ton (37.04% de la erosión). Ambas microcuencas con 1,258 ton (34.55%) y 1,227 ton (33.71%) de sedimentos. Además de controlar en primera instancia a las fuentes puntuales (descargas de aguas residuales), así como mantener y mejorar las descargas de fosas sépticas, se recomienda la adopción de mejores prácticas de conservación, ya que los nutrientes, erosión y sedimentación en el lago ha aumentado en los últimos 11 años.

**Palabras clave:** Contaminación puntual y difusa, erosión, sedimentos, nutrientes.

## 1 INTRODUCCIÓN

En los países desarrollados y para muchas áreas de captación la contaminación no puntual o difusa es más importante que la representada por las descargas puntuales (Novotny y Olem, 1994; Novotny, 2003, Bravo-Inclán *et al.*, 2013). La contaminación puntual y no puntual o difusa en nuestro país se ha caracterizado a nivel de sitio específico, por lo cual existe la necesidad de un diagnóstico detallado, que muestre la magnitud de entrada de lluvia de escurrimiento contaminada desde las cuencas hacia los cuerpos de agua.



En países en vías de desarrollo, aún no están bien definidas las diferencias entre las fuentes puntuales y fuentes no puntuales o difusas. En algunos lugares, los niveles de cobertura del sistema de alcantarillado son bajos y el problema de la contaminación es de carácter no puntual. En localidades pequeñas, las casas no tienen drenaje y las excretas se depositan en los patios traseros a través de letrinas o en sistemas sépticos, lo que aumenta el riesgo de contaminación en los cuerpos del subsuelo y de superficie. La lluvia arrastra los contaminantes llevándolos a los cuerpos de agua como acuíferos, ríos y presas. Los sistemas de alcantarillado combinados están generalmente en mal estado; la acumulación de residuos sólidos en áreas urbanas representa un problema grave no puntual que resulta en un impacto significativo en la calidad del agua de los cuerpos de agua (Novotny y Olem, 1994; Novotny 2003).

En el presente estudio, se evaluaron las fuentes de contaminación, cambios en la calidad del agua en el lago y se estimaron las cargas de erosión, sedimentos y nutrientes que escurren al lago de Tixtla, con el fin de identificar el potencial de recuperación y hacer recomendaciones para su rehabilitación a través de la retención de las aguas residuales por medio de fosas sépticas.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

La subcuenca del lago Tixtla pertenece a la Región Hidrológica 20 Costa Chica Río Verde, Cuenca E del Río Papagayo y en la subcuenca d, Río Azul. Políticamente se localiza entre los municipios de Tixtla Guerrero y Chilpancingo de Los Bravos, Estado de Guerrero, México. La subcuenca es de tipo endorreica se encuentra entre las coordenadas 17° 32' 52" y 17° 33' 51" de Latitud Norte y -99° 22' 49" y -99° 23' 20" de Longitud Oeste, Comprende una extensión de 78.15 km<sup>2</sup>. Asimismo presenta un perímetro aproximadamente de 45.3 km, con una longitud de 11.3 km. y una anchura de 11.1 km, igualmente la subcuenca se dividen en cinco microcuencas. Y finalmente el lago de Tixtla es el colector principal y un cuerpo natural, su perímetro es de aproximadamente 4.2 km, con una longitud de 1.5 km. y una anchura de 0.5 km. Figura 1.



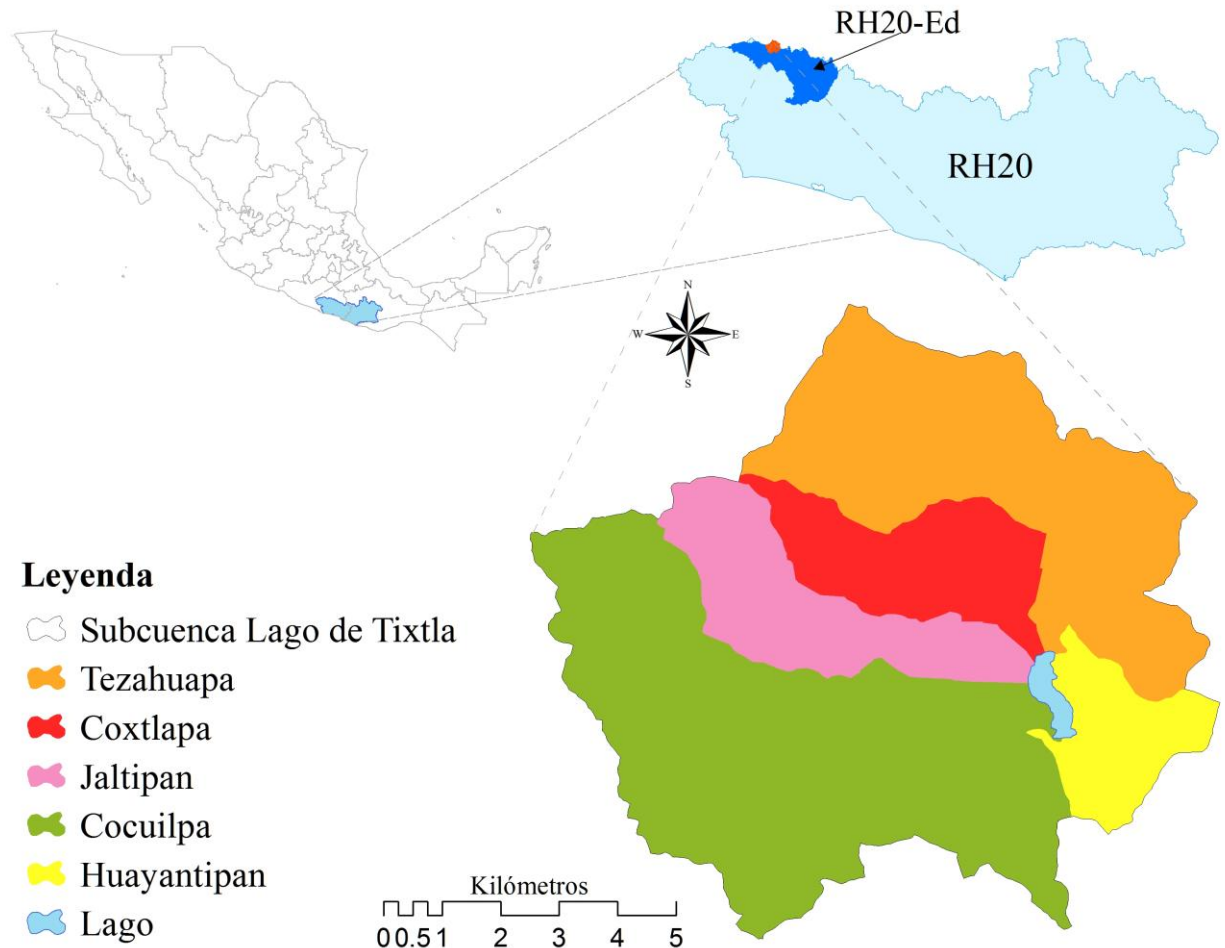


Figura 1 1 Ubicación de la zona de estudio. Microcuencas del lago de Tixtla.

Aproximadamente 23,936 mil personas viven en las subcuencas, principalmente en las zonas suburbanas y rurales de Tixtla. El uso del suelo en las subcuencas es principalmente para la agricultura: maíz, sorgo, frijol, hortalizas y floricultura: La práctica ganadera tiene un papel importante en la zona ya que existen especies pecuarias tanto de ganado mayor como de ganado menor. La actividad industrial está representada por molinos de nixtamal, tortillerías, panaderías, fábricas, de productos metálicos (herrería), establecimientos dedicados a la transformación de cuero. En la cuenca también se reporta la actividad de minería en el municipio de Tixtla, con explotación de mármol en la localidad de “Los Terrenos”, ubicada al noreste de la cabecera municipal. Las descargas de agua residual reducen el oxígeno disponible para la vida acuática, afectando a los organismos de las especies nativas e introducidas al lago. Además de los sedimentos contaminados la evaporación del agua y la extracción están causando reducción en el volumen y la superficie ocupada por el lago de Tixtla. El estudio de manejo integral de la subcuenca del lago de Tixtla, Guerrero y propuestas para el tratamiento de las aguas residuales descargadas en ellas y sus afluentes fue financiado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) Dirección Local Guerrero del 2014 (IMTA 2013).

La metodología consistió en la determinación de las cargas de erosión, sedimento, nitrógeno total y fósforo total en el lago a través de la técnica de las funciones de carga, utilizando el modelo Generalizado de Cuencas Funciones de Cargas (GWLF) desarrollados por la Universidad de Cornell, EE.UU. (Haith, *et al.*, 1992), y su interfaz con MapWindows GIS, Sistema de Información Geográfica conocido ahora como MapShed, desarrollado por la Universidad Estatal de Pensilvania, Estados Unidos (Evans y Corradini, 2014) y adaptado a las cuencas de los ríos Apatlaco (IMTA, 2000; Gómez, *et al.*, 2007), lagos de Pátzcuaro (IMTA, 2001; IMTA, 2003; IMTA, 2007b; Mijangos *et al.*, 2008) y Cuitzeo (Izurietta *et al.*, 2005; Izurietta *et al.*, 2007), parte baja de la cuenca del río Lerma (IMTA, 2007; Mijangos *et al.*, 2009; Mijangos *et al.*, 2010) y cuenca del lago de Tuxpan, Gro. (Mijangos *et al.*, 2013).

Los datos espaciales y la cartografía digital existente fue compilada (topografía, hidrografía, suelos, geología, los censos poblaciones y toponimia), y la serie de capas fueron creadas en ArcGIS. Se delimitaron para las microcuencas a través del uso de imágenes de satélite los modelos de elevación digital del terreno, datos de ordenamiento ecológico y los principales usos del suelo. Los parámetros correspondientes a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (R, K, L, S, C y P) se calcularon de acuerdo con el uso del suelo y clasificación de grupos hidrológicos de suelos, Figura 2, (Figueroa *et al.*, 1991). Para evaluar los resultados se aplicó la metodología del Servicio de Conservación de Suelos y se utilizaron los registros climáticos de las estaciones dentro de la cuenca.

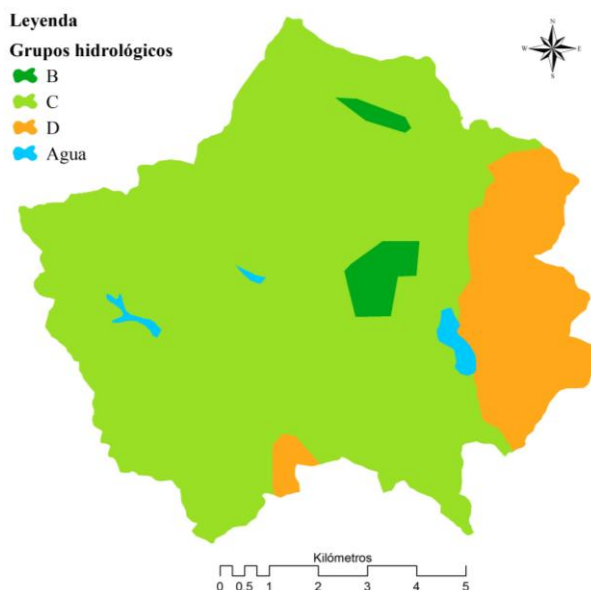


Figura 2. Grupo hidrológicos de suelos.

Las 24 localidades dentro de la subcuenca se determinaron a través del censo de población y vivienda del INEGI (INEGI, 2010) y la magnitud de los aportes de fuentes puntuales se cuantificó de acuerdo a los niveles de la cobertura del sistema de alcantarillado y los datos disponibles sobre la población con acceso a los sistemas sépticos. La información se incorporó al modelo MapShed para estimar las cargas diarias, mensuales y anuales, de erosión, sedimentación, nitrógeno y fósforo. Los datos no espaciales consistieron en datos estadísticos de censos agrícolas (cultivos, aplicación de fertilizantes y volúmenes resultantes), ganado, población (INEGI, 2012; INEGI, 2006), datos de calidad del agua del lago, suelos, cobertura de alcantarillado municipal y el inventario descargas.

Los muestreos se realizaron en los principales drenajes de rendimientos agrícolas en lago de Tixtla para efectuar el análisis comparativos de las cargas de nutrientes actuales en las subcuencas con los obtenidos por el modelo. La información de las estaciones de monitoreo de calidad del agua se utilizaron como datos de apoyo. Los niveles de concentración de nutrientes en las aguas subterráneas se determinaron a través de muestreos de extracción en pozos. La recopilación y análisis de datos agrícolas existentes se obtuvieron de los usuarios (tipos de cultivos, producción, infraestructura de agua, volúmenes de riego y la aplicación de fertilizantes en el interior del área de riego). Los valores de algunas variables como la concentración de nutrientes en el escurrimiento del uso de suelo, concentración N y P en el sedimento, y las constantes de la acumulación en las áreas suburbanas se tomaron de la literatura.

Para el análisis fisicoquímico en los principales afluentes (Tezahuapan, Cotaxtla, Jaltipan, Cucuilpa y Huayatipan, que descargan en el lago de Tixtla), en un pozo de extracción y nueve manantiales se efectuaron dos muestreos en 2014 (NT, NO, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PT, PO<sub>4</sub> y SST; de acuerdo con las siguientes normas mexicanas NMX-AA-003, 1980; SEDUE, 1989: NOM-001-ECOL, 1996; NOM-001-SEMARNAT, 1996) y una campaña de muestreo de suelo en diez puntos de las subcuencas para determinar sus propiedades físicas y químicas.

El modelo MapShed se aplicó para estimar las cargas y fuentes de erosión, sedimento, nitrógeno total y fósforo total, a través de la integración de los datos de precipitación y temperatura diaria, uso de suelo y erosión, considerados importantes en el modelo de simulación de escurrimientos y las cargas de erosión, sedimentos, y nutrientes (USEPA, 1999; Evans *et al.*, 2012). La información base de la subcuenca del lago de Tixtla se incorporó a la interfaz del modelo MapShed y se realizaron corridas de 11 años con registros diarios del clima (2003-2013).

### 3 RESULTADOS

Los promedios mensuales de los procesos de transporte: precipitación, evapotranspiración, agua subterránea, escurrimiento superficial y escurrimiento de cause, se señalan en la Figura 3. Las cargas totales anuales de erosión fueron de 21,993 toneladas y los sedimentos con 3,794 toneladas totales anuales, los promedios mensuales de erosión y sedimento los rendimientos se muestran en la Figura 4.

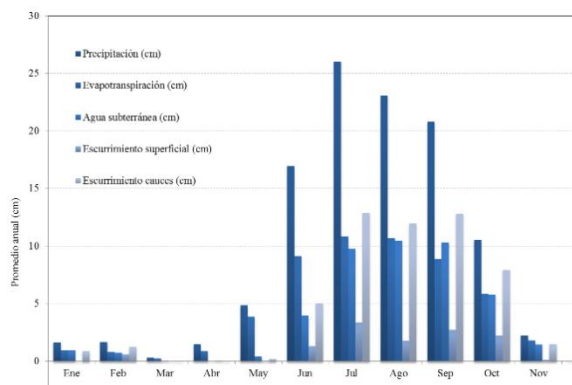


Figura 3. Promedios mensuales de balance hídrico.

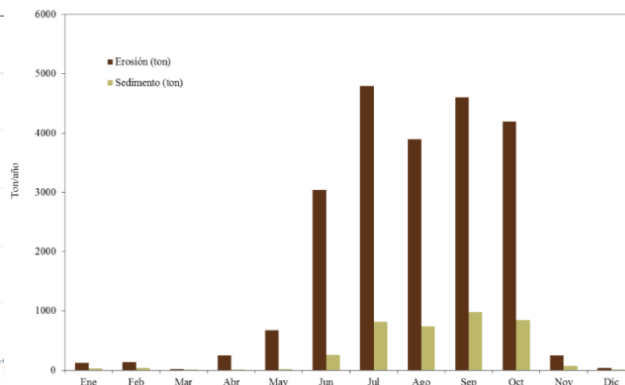


Figura 4. Promedio mensual de carga de erosión y sedimentos

El lago recibe un promedio anual de 84 toneladas de nitrógeno y 5 toneladas de fósforo que incluyen tanto las fuentes puntuales y difusas. Las cargas medias mensuales de nutrientes asociadas a los escurrimientos para el período de simulación señalan valores mínimos de nitrógeno en la estación seca (noviembre a mayo) de 6.81 toneladas y para la temporada de lluvias (junio a octubre) de 76.92 toneladas. Los valores de las cargas de fósforo total fueron aproximadamente 0.28 toneladas durante los meses secos y 4.46 toneladas durante los meses lluviosos de junio y octubre con las entradas más altas, Figura 5.

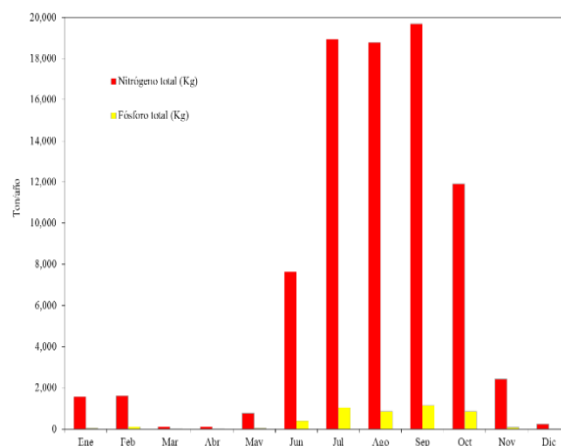


Figura 5. Promedios mensual de cargas de Nitrógeno y Fósforo.

El porcentaje de entrada de nitrógeno total por fuentes puntuales contribuye con el 2.82% y fuentes difusas con el 97.18% (Figura 6). El porcentaje de la entrada total de fósforo por fuentes puntuales es del 34.95% y fuentes difusas con el 65.05% (Figura 7).

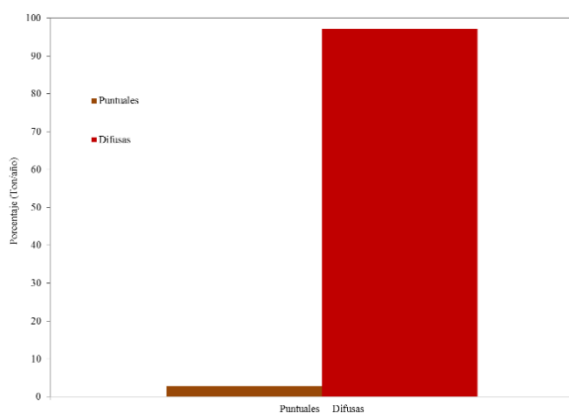


Figura 6. Fuentes por Nitrógeno.

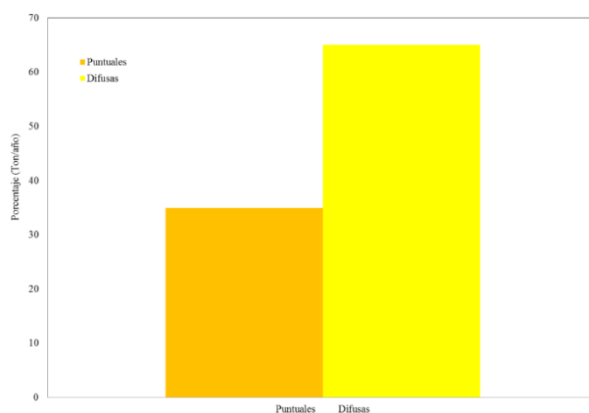


Figura 7. Fuentes por Fósforo.

Las tasas anuales de rendimientos de erosión y sedimentos por microcuenca se presentan en la Figura 8. Los resultados de nutrientes, nitrógeno y las concentraciones de fósforo en el agua se midieron en los arroyos y la contribución de cada microcuencas se muestran en la Tabla 1 y Figura 9. El área suburbana y rural contribuye anualmente con 0.36 toneladas de nitrógeno y 0.04 toneladas de fósforo al lago de Tixtla.

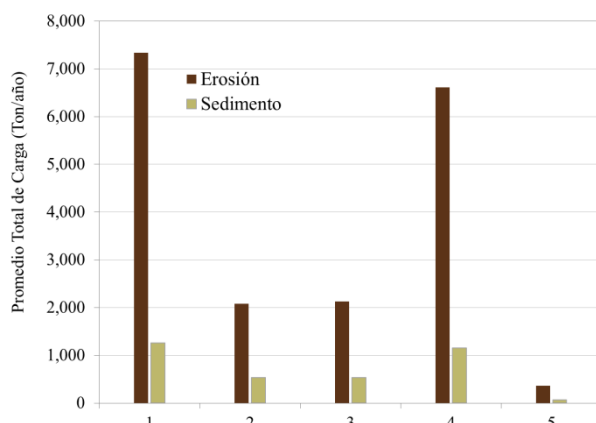


Figura 8. Rendimiento por microcuenca de erosión y sedimento.

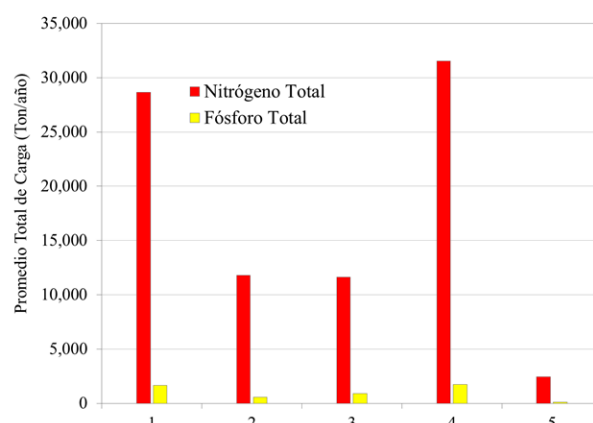


Figura 9. Carga anual de nutrientes por microcuencas.

Tabla 1. Cargas puntuales y difusas por microcuenca.

No.	Microcuenca	Superficie (ha)	(%)	Cargas Puntuales (Ton)		Cargas Difusas (Ton)	
				NT	PT	NT	PT
1	Tezahuapan	2,196.76	28.11	0.64	0.51	28.02	1.14
2	Coxtlapa	806.78	10.32	0.88	0.13	10.82	0.44
3	Jaltipan	918.25	11.75	0.68	0.51	10.86	0.40
4	Cocuilpa	3,308.62	42.34	0.22	0.55	31.31	1.19
5	Huayantipan	527.92	6.76	0.00	0.04	2.46	0.06
	Lago de Tixtla	57	0.72				
	Totales	7,815.33	100	2.43	1.73	83.37	3.23

Los diferentes usos del suelo y las áreas con vegetación, también se estimaron para ambas subcuencas, Figura 10 y los resultados indicaron que en las subcuenca la agricultura ocupa el 36.43% de la superficie total, y los bosques natural y alterado son aproximadamente el 60.48% y las zonas urbanas, suburbanas y rurales de suma 2.05%. La contribución de nitrógeno en las subcuencas, de fuentes puntuales procedentes de áreas suburbana y rural contribuyen con el 0.42%. Los sistemas sépticos también de usos urbanos son aproximadamente 2.40%, mientras que las superficies agrícolas contribuyen con aproximadamente el 9.62% (Tabla 2 y Figura 11). Las fuentes puntuales y los suelos agrícolas son los principales contribuyentes de las cargas de fósforo (Figura 12).



**Simbología**

**Uso del Suelo y Vegetación**

- Agricultura
- Bosque y selva
- Pastizal
- Sin vegetación aparente
- Zona urbana y rural
- Cuerpos de agua

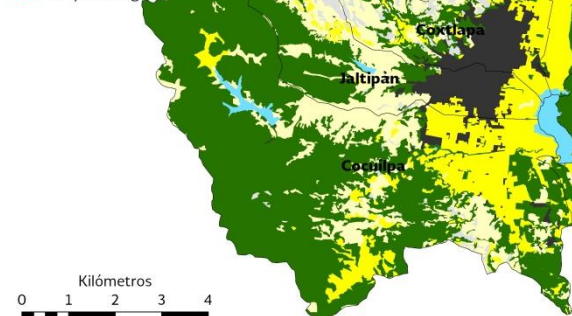


Figura 10. Patrón de uso del suelo en las microcuencas del lago de Tixtla.

Fuente	Nitrógeno Total (Ton)	Fósforo Total (Ton)
Agricultura	8.253	1.268
Bosque	1.219	0.165
Pastizal	4.850	1.736
Perturbado	0.036	0.014
Suburbano y rural	0.364	0.041
Animales	2.250	0.742
Banco de corrientes	0.240	0.085
Agua subterránea	66.520	0.907
Fosas sépticas	2.062	0.003
Total	85.795	4.963

Tabla 2. Promedio de cargas por fuentes de Nitrógeno total y Fósforo total.

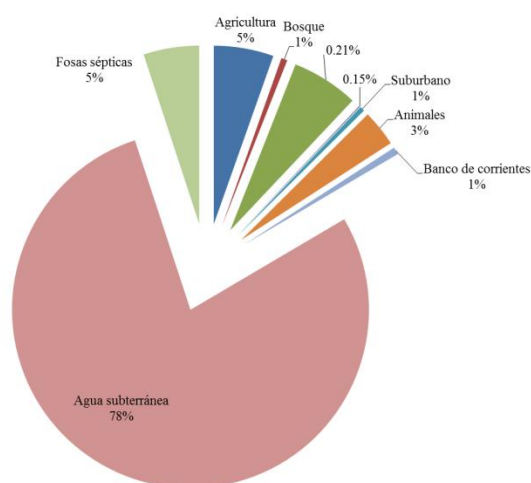


Figura 11. Contribución de Nitrógeno total por uso del suelo de fuentes no puntuales.

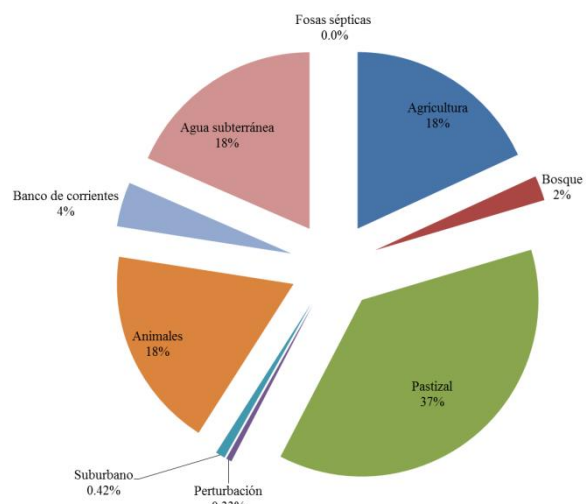


Figura 12. Contribución de Fósforo total por uso del suelo de fuentes no puntuales.

Con el fin de comparar los sedimentos y los aportes de nutrientes procedentes de las microcuencas con diferente uso de suelo predominante, las nueve microcuencas que componen las subcuencas se clasificaron como se muestra en la tabla 3. Esta clasificación ayudará a identificar las microcuencas similares y diseñar e implementar las mejores prácticas de conservación con el fin de evaluar su eficacia a largo plazo.

Tabla 3. Clasificación por microcuenca de uso de suelo.

Uso de suelo	Porcentajes		
	1-25%	26-60%	>61%
Suburbano - rural	1, 2, 4, 5		
Agricultura	2, 3	1, 4, 5	
Bosque		2, 4, 5	1, 3

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La contaminación en la subcuenca del lago de Tixtla es causada principalmente por las áreas agrícolas, pecuarias, suburbana, y rurales. Otros residuos químicos y orgánicos provienen de los vertederos de basura a cielo abierto. Las contribuciones totales de cargas de nitrógeno total y fósforo total en áreas suburbana y rural son de alta preocupación, porque a pesar de que existe la tecnología de tratamiento de aguas residuales a nivel local, aún no se han logrado reducir las cargas de nutrientes en las descargas. Además, la mayoría de los sistemas son fosas sépticas obsoletas que no se mantienen en niveles sanitarios satisfactorios.

Los resultados de cargas de NT y PT en zonas agrícolas también estuvieron elevados, principalmente entre las zonas riego y temporal a nivel microcuenca, con importantes diferencias fisiográficas como pendientes y cultivos que deben ser tomados en cuenta para reducir la contribución de nutrientes. En términos de erosión dos microcuencas son de gran preocupación; Tezahuapa y Cocuilpa, el más grande con el uso del suelo agrícola predominante y uso de suelo variados. Además, los enfoques y prioridades para el tratamiento de aguas residuales; conservación de suelos y mejores prácticas de conservación a nivel microcuenca son una prioridad, así como las microcuencas con alta contribución de contaminación difusa como la Cocuilpa y Tezahuapa.

Algunas opciones de estimación de contaminación difusa se están desarrollando, así como la selección de las mejores prácticas de conservación (BMP's, por sus siglas en inglés), que pueden ser adaptadas por la población local y bajo la supervisión a largo plazo para lograr la reducción de los aportes de nitrógeno total y fósforo total. El uso de suelo es un criterio importante para diseñar las BMP's, así como la evaluación y control de la contaminación puntual y difusa entre las microcuencas. Sin embargo, la identificación de las características físicas y antrópicas específicas también es de gran preocupación para tener éxito en su implementación.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue amablemente financiado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Dirección Local Guerrero. Convenio núm. CONAGUA-IMTA: SGAPDS-DLGRO-01/2014.



## 6. LITERATURA CITADA

- Bravo-Inclán, L., Saldaña F. P., Izurieta, D. J. y Mijangos, C. M. 2013 La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo. *Atl. El Portal del agua desde México*. Jiutepec, Mor., 10 pp.
- Evans, B.M., y Corradini, K. J. 2014. *MapShed version 1.2 Users Guide*. Penn State Institutes of Energy and the Environment, The Pennsylvania State University, EEUU. 140 pp.
- Evans, B. M., Lehning, D. W., Corradini, K. J., Peterson, G. W., Nizeyimana, E., Hamlett, J. M., Robillard, P. D. y Day, R. L. 2002. *A Comprehensive GIS-Based Modeling Approach for Predicting Nutrient Loads in Watersheds*. Jour. of Spatial Hydrology, 2 (2): 1-18.
- Figueroa, S. B., Amante, O. A., Cortés, T. H., Pimentel, L.J., Osuna, C. E. Rodríguez, O. J. Y Morales, F. F. 1991. *Manual de Predicción de pérdida de suelo por erosión*. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Colegio de Posgraduados. 150 p.
- Gómez, M. A., Mijangos, M. A., Izurieta, J. L. y Saldaña, M. P. 2007. *Estimation of diffuse pollution in a central watershed of Mexico*. Proceedings of the IWA 11th International Conference on Diffuse Pollution and First Join Meeting of the IWA Diffuse Pollution and Urban Drainage Specialist Groups, Belo Horizonte, Brazil, Aug. 26-31, 2007: 1-7.
- Haith, D.A., Mandel R. y Shyan W.R. 1992. *Generalized Watershed Loading Functions. Version 2.0. User's Manual*. Cornell University. 64 p.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2000. *Evaluación de la contaminación difusa en la cuenca del río Apatlaco*. Reporte Final del Proyecto.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2001. *Aplicación y capacitación de la metodología sobre contaminación difusa en una subcuenca del río Lerma*. CNA-IMTA. Reporte Final del Proyecto.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2003. *Estimación del impacto de las descargas del dren Zurumútaró en el Lago de Pátzcuaro y alternativas de tratamiento*. Reporte Final del Proyecto.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2007b. *Monitoreo periódico de la calidad del agua del lago de Pátzcuaro y de las descargas*. Informe Final.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2007. *Programa para el control en la cuenca baja del río Lerma*. Reporte Final.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2012. *Censo de población y vivienda 2010*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2012. *Anuario Estadístico del Estado de Guerrero*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2004. *Cuaderno Estadístico Municipal de Iguala de la Independencia Estado de Gro*. Edición 2004.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 1997. Conjunto de datos vectoriales. *Carta Clave E14A78, Nombre: Iguala de la Independencia*.



- Izurieta, J. L., Huerto R. I. y Mijangos, M. A. 2005. *Aportaciones de nutrientes al Lago de Cuitzeo provenientes de la Ciudad de Morelia y cuenca propia*. Capítulo 16. 30 pp. En: Gutiérrez-López A., Ramírez-Orozco A.I. Sánchez-Ramos F. (Editores). Las ciencias del agua en Morelia, aplicaciones frente a los retos del siglo XXI. Ediciones IMTA-UMSNH, Jiutepec/Morelia, Michoacán, México, 298 pp.
- Izurieta, J. L., Huerto R. I. y Mijangos, M. A. 2007. *Input by Point and non-point sources in the watershed of lake Cuitzeo, Mexico*. Proceedings of IWA 11th International Conference on Diffuse Pollution and First Join Meeting of the IWA Diffuse Pollution and Urban Drainage Specialist Groups, Belo Horizonte, Aug. 26 – 31 2007: 17.
- Mijangos-Carro, M. A., González, V. R., Bravo, I. L.A., Alba, U. M. y Evans, B. M. 2015. Estudio de fuentes de contaminación puntual y difusa en las subcuencas del lago de Tuxpan y río Tomatal, Iguala, Gro., México. XXI Reunión Nacional del capítulo SELPER-México, del 12 al 16 de Octubre de 2015. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ).
- 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 Patzcuaro Lake Basin in Mexico*. Water Science & Technology. Vol 58 No 11 pp 2179–2186.
- Mijangos-Carro, M.A., Izurieta, J.L., Hernández, R.D., Gómez, M.A., Saldaña, M.P., Medina R., Wruck, K.W. Y Rivera, P. 2009. *Diffuse pollution control in the Turbio River Basin Mexico*. Proceedings of IWA 13th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management (DIPCON2009). Lotte Hotel World, Seoul, Republic of Korea: 12-15 October 2009.
- Mijangos-Carro, M.A., Hernández, R.D., Gómez, M.A., Izurieta J.L., Saldaña, M.P., Medina, R., Wruck, K.W. y Rivera, P. 2010. *Diffuse pollution control in the lower Lerma River Basin, Mexico*. Proceedings of IWA 14th International Conference, IWA Diffuse Pollution Specialist Group: Diffuse Pollution and Eutrophication. DIPCON 2010. September 12-17, 2010. Beaupré, Quebec, Canadá.
- Norma Mexicana. 1980. NMX-AA-003-1980. *Aguas residuales – Muestreo*. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación. México.
- 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, 6/enero/1997.
- Norma Oficial Mexicana. 1996. NOM-001-SEMARNAT-1996. *Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial. México.
- Novotny, V. Y H. Olem. 1994. *Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Novotny, V. 2003. *Water Quality: diffuse pollution and watershed Management*. 2nd Edition. John Wiley & Sons. New York pp. 864.



- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1989. *Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89*. Diario Oficial de la Federación, Miércoles 13 de diciembre de 1989.
- United States Environmental Protection Agency. 2008. *Handbook for Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters*. EPA 841-B-08-002. Office of Water Nonpoint Source Control Branch Washington, D.C.
- United States Environmental Protection Agency. 1999. *Protocols for developing nutrient TMDLs*. EPA 841-B-99-007. Office of Water (4503 F), Washington, D.C.





Extenso ID: 113. Rubén Hernández-Morales, Ana Burgos, Margarita Alvarado-Bautista Y Rosaura Paez-Bistrain. CALIDAD DEL AGUA RURAL: CONDICION MICROBIOLOGICA EN FUENTES COMUNITARIAS DEL SISTEMA HIDROGRÁFICO BAJO BALSAS (MICHOCÁN MÉXICO)

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Laboratorio de Biología Acuática “J, Javier Alvarado Díaz”, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edificio BA, Ciudad Universitaria, Morelia Michoacán, quercusbios@hotmail.com

<sup>b</sup> Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Antigua carretera Pátzcuaro-Morelia, Morelia Michoacán, email: aburgos@ciga.unam.mx

<sup>c</sup> Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Antigua carretera Pátzcuaro-Morelia, Morelia Michoacán, email: rpaezb@ciga.unam.mx

<sup>d</sup> Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Antigua carretera Pátzcuaro-Morelia, Morelia Michoacán, email: maalbautista@gmail.com

## RESUMEN

Un problema extendido en cuencas rurales de países periféricos es la baja calidad microbiológica del agua para uso doméstico; problema que requiere un enfoque de cuenca y de seguridad hídrica para su atención. Este estudio analizó la calidad microbiológica de fuentes de abastecimiento en poblados rurales de la subcuenca Bajo Balsas, en la Región Hidrológico Administrativa IV Balsas. El estudio abarcó un sistema hidrográfico (1300 km<sup>2</sup>) sobre la ribera norte del embalse Presa Infiernillo en Michoacán, de clima estacional, cálido subhúmedo y semiárido cálido. Se recolectaron muestras de agua en 22 sitios de aprovechamiento (19 localidades) provenientes de manantiales permanentes y acuíferos aluviales someros, a finales de secas (mayo) y lluvias (octubre) de 2014 y 2015. Se estimó el número más probable de coliformes totales y fecales (NMX AA 042 SCFI 2011). Mediante pruebas bioquímicas y medios selectivos se determinó la identidad (género y sp.), los cuales fueron clasificados por su importancia patológica. Se confirmó la presencia de 35 sp (17 géneros) de bacterias termoestables; con diez especies de alta importancia patológica (*Escherichia*, *Salmonella*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Providencia* y *Citrobacter*). La riqueza de especies y su distribución espacial fue mayor y severa en el periodo de lluvias. Destacó la presencia de *Escherichia coli* por su permanencia anual, y *Enterobacter aerogenes* y *Citrobacter diversus*, estacional. Se registraron nueve especies de importancia patológica moderada (ej. *Edwardsiella tarda*), y otras 16 neutras para el ser humano. No se encontraron diferencias significativas en la severidad de la contaminación entre fuentes ubicadas en diferentes ordenes de corriente. Ello sugiere que las fuentes de contaminación están ampliamente distribuidas en todo el sistema hidrográfico. El ganado, la concentración de fauna en fuentes de agua y la defecación al aire libre por falta de sanitarios parecen las principales causas potenciales. Se concluye que la severidad de la contaminación microbiológica aumenta en la estación de lluvias y adolece de un patrón espacial claro, efecto atribuido a fuentes difusas de efectos locales, ampliamente distribuidos en la



subcuenca. Dada las dificultades de controlar la contaminación difusa, se requieren enfoques de prevención más activos para reducir las amenazas a la salud comunitaria.

**Palabras clave:** Enterobacterias, Cuencas estacionales, Contaminación.

## 1 INTRODUCCIÓN

La baja calidad microbiológica del agua en fuentes de abasto en áreas rurales es un problema extendido en los países en desarrollo (Nogueira et al. 2003, Trevett et al. 2004, Mpenyana-Monyatsi et al. 2012, Jagals et al. 2013, Amenu et al. 2014). La evaluación de esta problemática bajo diferentes contextos geográficos contribuye al entendimiento de los factores implicados en la seguridad hídrica rural a escala global (Fewtrell y Bartram 2001, WHO 2011); también es prescriptiva de las medidas preventivas, correctivas y de manejo para reducir las causas y efectos del problema en territorios y cuencas específicos (Valenzuela 2009).

La calidad microbiológica del agua depende de la presencia de bacterias coliformes termotolerantes capaces de fermentar lactosa a temperaturas de 44-45°C, las que están asociadas a la presencia de heces fecales. *Escherichia coli* y el género *Salmonella* son las principales indicadores de contaminación fecal, con efectos patogénicos severos para el ser humano. Hay otras especies de interés patogénico como *Vibrio cólera*, otras especies del género *Escherichia*, y algunas especies de los géneros *Campylobacter*, *Enterobacter* y *Yersinia* (Bain et al. 2014a). Otras especies como *Edwardsiella* sp. tienen efectos moderados o nulos en la salud humana, aunque pueden afectar la sanidad de especies silvestres y cultivadas (Crumlish et al. 2002).

Con el propósito de contribuir al alcance de la seguridad hídrica en el México rural, este trabajo persiguió un objetivo. Determinar los patrones espacio-temporales en la condición microbiológica del agua de fuentes de abasto comunitario en cuencas rurales de alta marginación social, afectadas por climas estacionales secos.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un sistema hidrográfico de 1300 Km<sup>2</sup> que drena al Embalse Adolfo López Mateos (Presa Infiernillo), en la parte baja de la Cuenca del Río Balsas en Tierra Caliente, Michoacán, México. La población radica en pequeñas localidades dispersas en un paisaje dominado por cerros y lomeríos. Las comunidades muestran rezagos sociales y económicos que las clasifican como de alta y muy alta marginación (CONAPO 2012).

El agua doméstica es obtenida de pequeños escurrideros de las partes altas de cerros y manantiales permanentes, ó desde acuíferos aluviales someros en los cauces de arroyos transitorios. El aprovechamiento se realiza con infraestructura hídrica precaria. En sitios altos, se utilizan cajas de captación para la conducción del agua por gravedad a los poblados. En las partes bajas, el agua se extrae de acuíferos aluviales mediante norias y equipos de bombeo.

El muestreo se realizó en 22 sitios de aprovechamiento de fuentes de agua para uso comunitario, ubicados en 18 localidades del área de estudio. Los sitios se seleccionaron de entre 42 fuentes de agua cuyos parámetros fisicoquímicos son analizados desde el año 2010 mediante un programa de monitoreo comunitario de calidad del agua (Burgos et al. 2013).

Se escogieron localidades y sitios distribuidos en todo el sistema hidrográfico para cubrir condiciones a diferentes altitudes y sobre líneas de drenaje de diferente orden de corriente. El muestreo se realizó durante los años 2014 y 2015, a finales de la estación seca en mayo y de la estación de lluvias en octubre (cuatro fechas). La temporalidad del muestreo capturó

condiciones contrastantes en los momentos de mayor estabilidad hidrológica en cuencas estacionales.

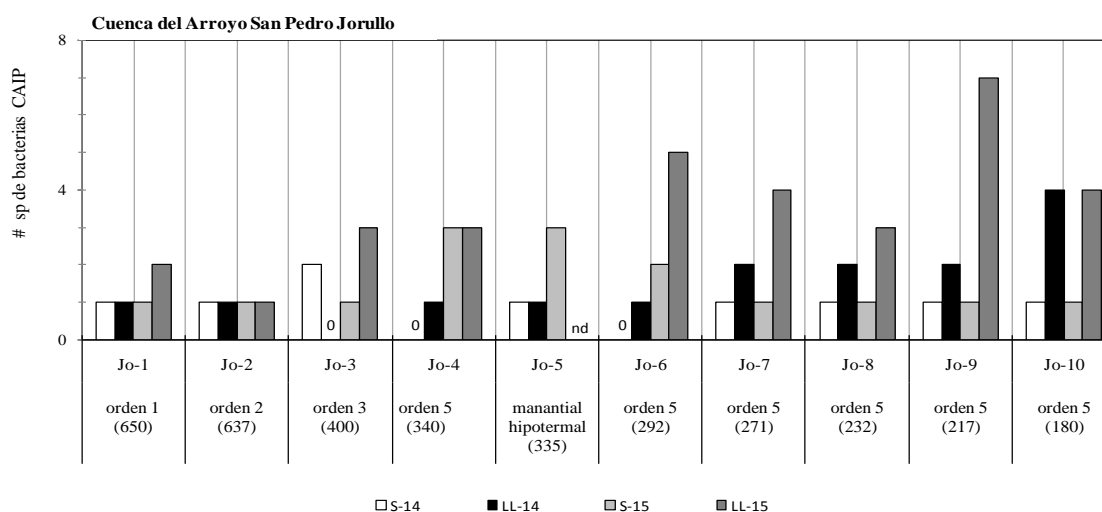
Las muestras de agua se colectaron por duplicado en bolsas estériles de 100 ml y se mantuvieron en hielo hasta su refrigeración a 4°C a la noche del mismo día de colecta. Los análisis de laboratorio se iniciaron a primera hora del día siguiente.

Los análisis microbiológicos se realizaron mediante pruebas presuntivas y confirmativas para determinar el número más probable (NMP) de bacterias coliformes totales y fecales, de acuerdo a la técnica prescrita por la normatividad mexicana (NMX-AA-042-SCFI-2011). Se utilizaron los medios selectivos para organismos de la familia Enterobacteriaceae. La organización taxonómica se realizó con el manual de bacteriología sistemática de Bergey (Holt et al. 1994) con el que se discernió entre grupo taxonómico, género y especie, con base en 14 características fenotípicas de tipo bioquímico.

Se aplicó la prueba de comparaciones pareadas de Wilcoxon para contrastar los efectos de la estacionalidad climática (secas Vs lluvias) tanto sobre la disseminación espacial de cada especie entre los 22 sitios de aprovechamiento, como en la severidad de la contaminación en un mismo sitio de aprovechamiento. Los análisis fueron realizados con el programa STATISTICA V. 10.0.

### 3 RESULTADOS

Las fuentes que abastecen de agua a las comunidades rurales del sistema hidrográfico Presa Infiernillo-Bajo Balsas tuvieron la presencia de bacterias coliformes termoestables (CT) ampliamente distribuida en el tiempo y en el espacio. La severidad de dicha contaminación fue contrastante entre estaciones climáticas (lluvias y secas). El 100% de los sitios muestreados (n = 22) tuvo presencia de CT a finales de la estación de lluvias en ambos años (2014 y 2015) mientras que la mejor condición se presentó a finales de la estación seca de 2014, con un 76 % de sitios afectados. Lo más frecuente fue la presencia de más de seis especies CT por sitio analizado al final de lluvias de ambos años, con más del 50 % de sitios en dicha condición (Figura 1). La condición menos frecuente fue la ausencia de CT en alrededor del 20 % de los sitios muestreados al final de la estación seca, de ambos años.



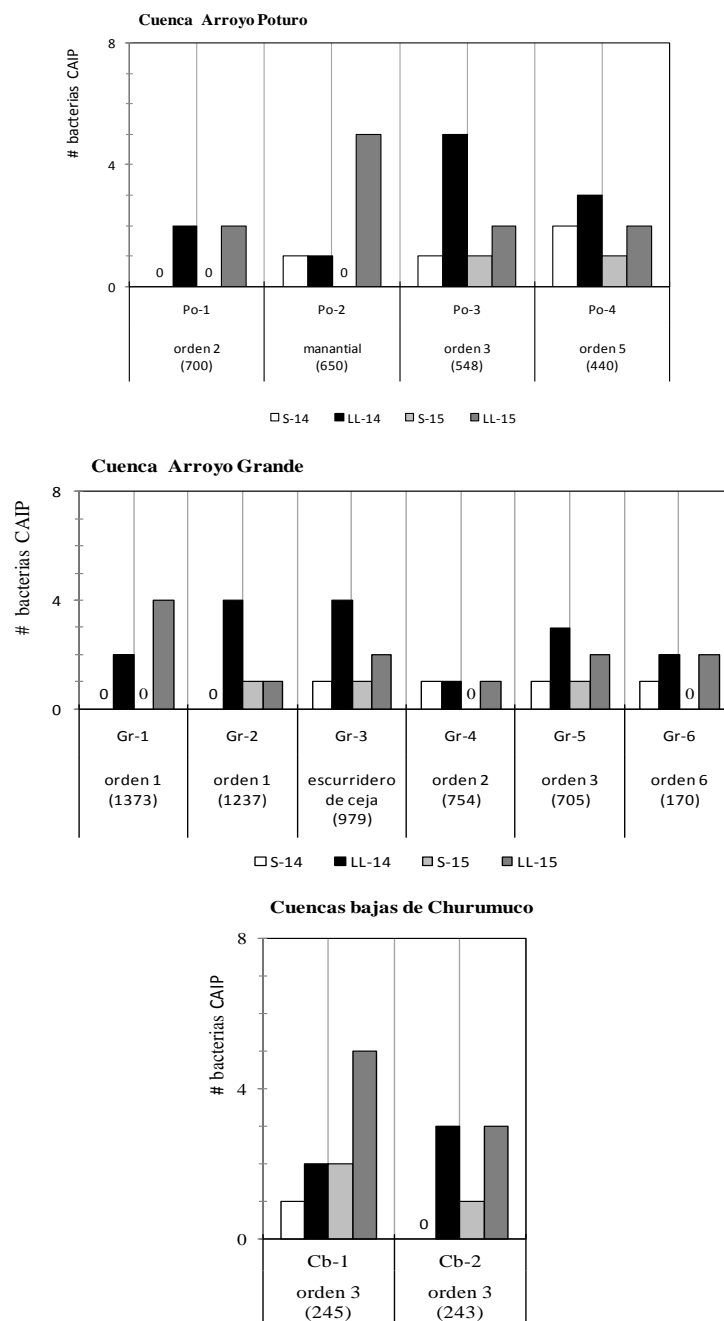


Figura 1. Riqueza de especies de bacterias coliformes termotolerantes de alta importancia patológica (CAIP) en sitios de aprovechamiento comunitario de agua (ver Cuadro 1) en las estaciones seca (S) y de lluvias (LL) de los años 2014 y 2015. En cada sitio se indica el orden de corriente de la línea de drenaje donde está ubicado y su altitud (en metros sobre el nivel del mar)



Se confirmó la presencia de 35 especies de la familia Enterobacteriaceae, pertenecientes a 17 géneros (Cuadro 1). Diez especies fueron clasificadas como de importancia patológica alta y muy alta (CAIP) pertenecientes a seis géneros: *Escherichia*, *Salmonella*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Providencia* y *Citrobacter*. De las diez especies, seis mostraron presencia 'permanente' y 'cuasi-permanente' a lo largo del periodo de muestreo, y las cuatro restantes tuvieron presencia 'estacional'. *E. coli* mostró una amplia distribución espacial y temporal, con presencia en más del 72 % de los sitios de manera permanente. *E. vulneris* y *Salmonella* sp. estuvieron menos distribuidas espacialmente, pero de manera permanente a lo largo del estudio. *P. alcalifaciens*, *K. pneumoniae* subsp *pneumoniae* y *Y. pestis* estuvieron presentes de manera 'cuasi-permanente' durante el estudio, con manifestación más restringida en alrededor del 15 % de las sitios. De las especies con presencia estacional, destacó *Enterobacter aerogenes* por su aparición en lluvias en más del 20 % de las fuentes; y *Citrobacter diversus* con una menor distribución espacial, pero con un muy alto impacto patológico (Cuadro 1). El inventario de CT incluyó nueve especies de importancia patológica moderada, de las cuales destacaron *E. fergusonii* y *Edwardsiella tarda* con presencia cuasi-permanente en más del 50 % de los sitios. Otras 16 especies detectadas no representan amenaza sanitaria para el ser humano, pero algunas sí lo son para especies silvestres y cultivadas como *Edwardsiella ictaluri* y *Erwinia tracheiphila* que producen patologías en peces y calabaza, respectivamente.

La dispersión de CT entre los sitios de aprovechamiento de agua dentro del sistema hidrográfico mostró diferencias altamente significativas entre las estaciones seca y de lluvias, en ambos años (ZCF-2014 = 3.5870,  $p = 0.0003$ ; ZCF-2015 = 4.1972,  $p < 0.0001$ ). Sin embargo, a diferencia de lo sostenido en [H2], la severidad de contaminación incrementó en lluvias y no en secas dada por una mayor dispersión espacial de especies entre sitios de aprovechamiento. El mismo patrón se detectó al realizar la prueba de Wilcoxon solamente para las especies CAIP (ZCAIP-2014 = 2.8031,  $p = 0.0051$ ; ZCF-2015 = 2.6656,  $p = 0.0077$ ). Ello indicó que todo el grupo bacteriano, no solamente las especies sin importancia sanitaria muestran diseminación en lluvias. La prueba de Wilcoxon no detectó diferencias estadísticamente significativas en la dispersión espacial de cada especie entre una misma estación climática de diferentes años ( $Z_{secas} = 1.8257$ ,  $p = 0.068$ ;  $Z_{lluvias} = 1.6803$ ,  $p = 0.093$ ). Este resultado da certidumbre de la existencia de un patrón temporal en la propensión de dispersión de estas especies.

Cuadro 1. Especies de bacterias coliformes termotolerantes con presencia confirmada en 22 fuentes de agua para abasto comunitario en estación seca (S) y de lluvias (LL) de los años 2014 y 2015

Especie	Importancia patológica	# de fuentes afectadas				% promedio de fuentes afectadas		Distribución temporal
		S-14	LL-14	S-15	LL-15	en secas	en lluvias	





<i>Escherichia coli</i>	muy alta	16	19	17	17	75.0	81.8	persistente
<i>Escherichia vulneris</i>	alta	1	7	1	7	4.5	31.8	persistente
<i>Salmonella sp</i>	muy alta	1	4	1	2	4.5	13.6	persistente
<i>Providencia alcalifaciens</i>	alta	0	3	1	7	2.3	22.7	cuasi-permanente
<i>Klebsiella pneum subsp pneum</i>	muy alta	0	2	2	6	4.5	18.2	cuasi-permanente
<i>Yersinia pestis</i>	muy alta	0	2	1	5	2.3	15.9	cuasi-permanente
<i>Enterobacter aerogenes</i>	alta	0	3	0	6	0.0	20.5	estacional
<i>Klebsiella oxytoca</i>	alta	0	2	0	6	0.0	18.2	estacional
<i>Citrobacter diversus</i>	muy alta	0	3	0	2	0.0	11.4	estacional
<i>Escherichia hermannii</i>	alta	0	2	0	2	0.0	9.1	estacional
<i>Escherichia fergusonii</i>	moderada	0	12	11	11	25.0	52.3	cuasi-permanente
<i>Edwardsiella tarda</i>	moderada	0	13	4	9	9.1	50.0	cuasi-permanente
<i>Citrobacter amalonaticus (BG)</i>	moderada	0	10	0	1	0.0	25.0	estacional
<i>Morganella morganii</i>	moderada	0	1	0	10	0.0	25.0	estacional
<i>Providencia stuartii</i>	moderada	0	3	0	0	0.0	6.8	estacional
<i>Klebsiella pneumoniae subsp. rhinoscleromatis</i>	moderada	0	1	0	1	0.0	4.5	estacional
<i>Citrobacter freundii</i>	moderada	1	11	0	0	2.3	25.0	errática
<i>Pantoea agglomerans</i>	moderada	3	0	0	0	6.8	0.0	eventual
<i>Pantoea sp</i>	moderada	1	0	0	0	2.3	0.0	eventual
<i>Hafnia alvei</i>	baja	0	14	2	10	4.5	54.5	cuasi-permanente
<i>Klebsiella planticola</i>	baja	0	3	1	3	2.3	13.6	cuasi-permanente
<i>Edwardsiella hoshinae</i>	baja	0	2	1	2	2.3	9.1	cuasi-permanente
<i>Pragia fontium</i>	muy baja	0	7	1	3	2.3	22.7	cuasi-permanente
<i>Leminorella grimontii</i>	baja	0	1	0	6	0.0	15.9	estacional

<i>Enterobacter amnigenus</i>	baja	0	6	0	0	0.0	13.6	estacional
<i>Leclercia adecarboxylata</i>	baja	0	1	0	2	0.0	6.8	estacional
<i>Yersinia intermedia</i>	baja	1	0	0	11	2.3	25.0	errática
<i>Budvicia aquatica</i>	baja	1	0	0	0	2.3	0.0	eventual
<i>Buttiauxella agrestis</i>	baja	1	0	0	0	2.3	0.0	eventual
<i>Providencia heimbachae</i>	baja	0	1	0	0	0.0	2.3	eventual
<i>Escherichia blattae</i>	nula	0	4	2	8	4.5	27.3	cuasi-permanente
<i>Edwardsiella ictaluri</i>	nula	0	2	2	6	4.5	18.2	cuasi-permanente
<i>Yersinia rodhei</i>	nula	1	0	0	2	2.3	4.5	errática
<i>Erwinia rubrifaciens</i>	nula	4	0	0	0	9.1	0.0	eventual
<i>Erwinia tracheiphila</i>	nula	3	0	0	0	6.8	0.0	eventual
<i>Riqueza estacional de especies</i>		12	27	14	25			
<i>(considerando todos los sitios)</i>								

La riqueza de especies CT y CAIP en cada uno de los 22 sitios mostró un incremento durante las lluvias, con diferencias altamente significativas en la prueba de Wilcoxon. Pero opuesto a lo esperado, la severidad de la contaminación no mostró un patrón espacial regido por el orden de corriente de las líneas de drenaje donde se ubican los sitios de aprovechamiento. Estos datos indican que el enriquecimiento de CT en fuentes de agua es un fenómeno extendido dentro del sistema hidrográfico. 15 de los 22 sitios estudiados manifestaron incremento en la riqueza de CAIP en ambas estaciones de lluvias, 6 sitios lo manifestaron sólo en una de ellas, y un único sitio no presentó cambios entre estaciones.

#### 4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El sistema hidrográfico del Bajo Balsas (Michoacán) mostró una calidad microbiológica deficiente de las fuentes de agua que abastecen a las pequeñas localidades rurales, sin importar la ubicación por cuencas, altitud o sector hidrográfico (i.e. orden de corriente). La baja calidad microbiológica se manifestó en la presencia extendida en el espacio y en el tiempo de *E. coli*, con presencia más restringida de *Salmonella* sp. Otras especies típicas de contaminación del agua rural en países en desarrollo como *Vibrio* cólera y los géneros *Shigella* y *Campylobacter* (Momba y Kaleni 2002) no fueron detectadas en este estudio. En cambio, se confirmó la presencia de otras bacterias con alta importancia patogénica como *Escherichia vulneris* relacionada con su alojamiento en heridas, urosepsis, bacteremia y encefalitis (Mohanty *et al.* 2005); y *Providencia alcalifaciens* asociada a diarreas en infantes (Albert *et al.* 1998). La presencia de *Klebsiella pneumoniae* y *Yersinia pestis* son de cuidar. La primera está asociada con infecciones urinarias, neumonías, sepsis e infecciones de tejidos blandos (Babu *et al.* 2015).



mientras que la segunda es el agente causante de pestes que se creían erradicadas (Perry y Fetherston 1997).

La severidad en la contaminación de las fuentes de agua mostró una clara incidencia de la estacionalidad climática. A finales de la estación de lluvias, la riqueza y diseminación espacial de las especies coliformes fecales fue de mayor magnitud que a finales de secas. En el trópico seco, la dinámica estacional de la comunidad bacteriana puede analizarse a partir de la dinámica hidrológica del ecosistema (Maass y Burgos 2011).

En el Pacífico mexicano las lluvias inician a finales del mes de junio y se detienen en la primera quincena de octubre (4 meses). En octubre concluye el arrastre de materiales por escurrimiento e infiltración. La condición microbiológica de las fuentes en octubre parece reflejar la comunidad bacteriana que alcanzó los mantos acuíferos y flujos subsuperficiales de agua y se estabilizó en esos ambientes durante las lluvias. A partir de octubre, las condiciones hidrológicas son menos dinámicas hasta alcanzar un mínimo en mayo. Estos cambios se reflejan en la senescencia completa de la vegetación nativa de la selva baja y en el acoplamiento de todos los procesos fisio-ecológicos del ecosistema a la sequía (Ceballos et al. 2010).

La ausencia de flujos hídricos conlleva una alta estabilidad en las fuentes de agua, con nula movilidad hidráulica y mayor concentración de sustancias en el agua por evapotranspiración. La disminución de la riqueza de especies detectada a finales de mayo parece indicar una alta mortalidad de bacterias durante la estación seca, con efectos drásticos en aquellas especies que llegan a desaparecer en mayo. Durante los 6 a 7 meses de inactividad hidrológica, los desechos fecales del ganado y fauna silvestre se producen y acumulan principalmente en las áreas ribereñas de las líneas de drenaje donde persisten ojos de agua y pozas, sombra, alimento y refugios.

En muchas comunidades, la falta de servicios sanitarios conlleva a la defecación al aire libre al amparo de las áreas ribereñas. Con el inicio de las lluvias, el material fecal es fácilmente arrastrado y lixiviado a las fuentes de agua. Flores-López *et al.* (2012) mostraron que el estiércol de ganado vacuno es altamente contaminante con *E. coli* y generador de contaminación bacteriológica difusa, con mayores arrastres al inicio de las primeras lluvias estacionales. Dado que en el trópico seco la ganadería bovina extensiva es una actividad dominante, estos focos de contaminación no puntual parecen reproducirse en todos los sectores de las cuencas, independientemente del orden de corriente de las líneas de drenaje. Similares efectos espacialmente extendidos en las cuencas reportaron Torres-Beristain *et al.* (2013) en Veracruz (México) bajo un clima más lluvioso y templado que en el trópico seco. Los arrastres de materia fecal por efecto de las lluvias son un agente de contaminación no-puntual debido a la recarga rápida que estas producen en acuíferos, manantiales y cuerpos de agua superficiales (Pedley y Howard 1997, Crabill *et al.* 1999).

## 5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a FOMIX-CONACYT por el soporte económico para el desarrollo del proyecto: “Hacia la seguridad hídrica en el Bajo Balsas: una estrategia multidimensional”, así como al SICDET en el Estado de Michoacán, a la fundación Gonzalo Río Arronte, al sector social, particularmente al sector comunitario del Bajo Balsas en Michoacán y al Grupo Balsas para Estudio y Manejo de Ecosistemas A.C.



## 6 LITERATURA CITADA

- Albert, J. M., Faruque, A. S. G. & Mahalanabis, D. (1998). Association of *Providencia alcalifaciens* with diarrhea in children. *J. Clin. Microbiol.* 36(5), 1433-1435.
- Amenu, K., Spengler, M., Markemann, A., & Zárate, A. V. (2014). Microbial quality of water in rural households of Ethiopia: implications for milk safety and public health. *J. Health Popul. Nutr.* 32(2), 190–7.
- Babu, L., Murali, H. S. and Batra, V. H. 2015. Incidence of *Klebsiella pneumoniae* subsp *pneumoniae* in food and environmental samples isolated from Mysore City, India and its antibiogram. *Int. J. Pharm. Biol. Sci.* 6(4), (B) 635-641.
- Bain, R. E. S., Cronk, R., Wright, J., Yang, H., Slaymaker, T., & Bartram, J. (2014). Fecal Contamination of Drinking-Water in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS Med.* 11(5), e1001644.
- Burgos, A., Pérez, R., Carmona, E., & Rivas, H. (2013). A systems approach to modeling Community-Based Environmental Monitoring: a case of participatory water quality monitoring in rural Mexico. *Environ. Monit. Assess.* 185(12), 10297-10316.
- Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, JC Bezaury y R. Dirzo (eds.). 2010. *Las selvas secas del Pacífico Mexicano*. Fondo de Cultura Económica. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. México, D.F. 594 pp.
- Crabill, C., Donald, R., Snelling, J., Foust, R., & Southam, G. (199). The Impact Of Sediment Fecal Coliform Reservoirs On Seasonal Water Quality In Oak Creek, Arizona. *Wat. Res.* 33(9), 2163-2171.
- CONAPO. (2012). Índice de marginación por localidad 2010. Capítulo 3. CONAPO. México D.F. 36 pp.
- Crumlish, M., Dung, T. T., Turnbull, J. F., Ngoc, N. T. N & Ferguson, H. W. (2002). Identification of *Edwardsiella ictaluri* from diseased freshwater catfish, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage), cultured in the Mekong Delta, Vietnam. *J. Fish Dis.* 25, 733–736.
- Fewtrell, L. & Bartram J. (2001). *Water Quality. Guidelines, Standards and Health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. World Health Organization, Geneva, Switzerland. 424 pp.
- Flores López, H. E., Hernández Jauregui, A. L., Figueroa Viramontes, U., & Castañeda Villanueva, A. A. (2012). Calidad microbiológica del agua por contaminación difusa de la aplicación de estiércoles en maíz y pasto. *Tecnol. Cienc. Agua*, vol. III, feb, 127-141
- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath P.H.A., Staley J.T. y Williams A.T. (1994) *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 9th Edition. Lippincott. Williams & Wilkins. Baltimore, Maryland U.S.A. 787 pp.
- Jagals, P., Barnard, T. G., Mokoena, M. M., Ashbolt, N., & Roser, D. J. (2013). Pathogenic *Escherichia coli* in rural household container waters. *Water Sci. Technol.* 67(6), 1230–7.
- Maass, M., & Burgos, A. (2011). Water dynamics at the ecosystem level in seasonally dry tropical forests. In *Seasonally dry tropical forests* (pp. 141-156). Island Press/Center for Resource Economics.



- Mohanty, S., Chandra, S. P., Dhawan, B., Kapil, A. & Das K. B. (2005). Meningitis due to *Escherichia vulneris*. *Neurol. India* 53 (1), 122-123.
- Mpenyana-Monyatsi, L., Onyango, M. S., & Momba, M. N. B. (2012). Groundwater quality in a South African rural community: A possible threat to public health. *Pol. J. Environ. Stud.* 21(5), 1349–1358.
- Momba, M. N. B., & Kaleni, P. (2002). Regrowth and survival of indicator microorganisms on the surfaces of household containers used for the storage of drinking water in rural communities of South Africa. *Water Res.* 36, 3023–3028
- Nogueira, G., Nakamura, C. V, Tognim, M. C. B., & Filho, B. a A. (2003). Microbiological quality of drinking water of urban and rural communities, Brazil. *Qualidade microbiológica de água potável de comunidades urbanas e rurais, Paraná. Methods* 37(2), 232–236.
- Pedley, S., & Howard, G. (1997). The public health implications of microbiological contamination of groundwater. *Q. J. Eng. Geol. Hydroge.* 30(2), 179-188.
- Perry, D. R. and Fetherston, D. J. (1997). *Yersinia pestis*-etiologic agent of plague. *Clin. Microbiol. Rev.* 10(1), 35-66.
- Secretaría del Comercio y Fomento Industrial. (2013) NMX-AA-042-2011 Análisis de agua-detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva método del número más probable en tubos múltiples. *Diario Oficial de la Federación* 13 de Agosto de 2013.
- Torres Beristáin, B., González López, G., Rustrián Portilla, E., & Houbbron, E. (2013). Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29(3), 135-146.
- Trevett, A. F., Carter, R., & Tyrrel, S. (2004). Water quality deterioration: a study of household drinking water quality in rural Honduras. *Int. J. Environ Heal. R.* 14(4), 273–283.
- Valenzuela, M., Lagos, B., Claret, M., Mondaca, M. A., Pérez, C. & Pérez, P. O. (2009). Fecal Contamination Of Groundwater In A Small Rural Dryland Watershed In Central Chile. *Chilean J. Agric. Res.* 69(2), 235-243.





Extenso ID: 300. Erika Grissel Ovando Gutiérrez, José Reyes Díaz Gallegos<sup>b</sup>, Miguel Ángel Sáenz De Rodrigáñez, A. USCANGA-Martínez. EVALUACIÓN DEL HÁBITAT DE LA TENGUAYACA *PETENIA SPLENDIDA* EN LA PRESA NEZAHUALCÓYOTL, MALPASO, CHIAPAS

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup>Laboratorio de nutrición y producción acuícola. Centro de Investigaciones Costeras. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Av. Juan José Calzada esq. Calzada de Guadalupe s/n Col. Evolución, CP. 30500, Tonalá, Chiapas. México. \*e-mail: arkady.uscanga@unicach.mx

<sup>b</sup>Laboratorio de Geoinformación y Análisis Geoespacial.

Centro de Investigaciones Costeras. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Av. Juan José Calzada esq. Calzada de Guadalupe s/n Col. Evolución, CP. 30500, Tonalá, Chiapas. México. e-mail: jose.diaz@unicach.mx

## RESUMEN

El estudio se realizó en la presa Nezahualcóyotl ubicada en el cauce del Río Grijalva al noroeste del estado de Chiapas, es una de las presas más importantes en el estado debido al número de pobladores que viven en su margen, siendo su principal actividad productiva la pesca. Dentro de esta actividad la especie más representativa es la tenguayaca *Petenia splendida*. Las estaciones de monitoreo se definieron sobre un mapa topográfico a escala 1:50 000 y se cargaron en un GPS (Global Positioning System), para su navegación en campo. La tomas de muestras corresponde a las temporadas de secas (salida 1: marzo, salida 2: mayo) y lluvias (salida 1: julio, salida 2: septiembre) del año 2015, se georeferenciaron 60 estaciones de monitoreo dentro de toda la presa. In situ se determinó temperatura, oxígeno disuelto, pH y visibilidad relativa (m). Los parámetros determinados en el laboratorio fueron: sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, alcalinidad total, dureza total, grasas y aceites, nitratos, nitritos. Finalmente se aplicaron 200 encuestas a las personas que habitan al margen de la presa, para identificar la percepción de la problemática ambiental en la presa.

Los resultados obtenidos muestran algunas variaciones temporales, con excepción del oxígeno disuelto OD el cual en tiempo de seca disminuyo notoriamente, debido al poco aporte hídrico que se presenta en esta temporada, en comparación con la época de lluvias donde el aporte hídrico es mayor y por tanto se cuenta con mayores corrientes hídricas que permiten una oxigenación más homogénea en toda la presa, así mismo el Nitrógeno Amoniacal, varía de forma importante en un cierto punto, puesto que se encuentra cerca de una granja acuícola; la



cual se dedica a la reproducción, cría y engorda de la Tilapia, por tanto es donde existe más aporte de productos químicos que contiene el alimento de este pez.

**Palabras clave:** calidad del agua, isolíneas, Sistemas de Información geográfica, Nezahualcóyotl.

## 1 INTRODUCCIÓN

La gran cantidad de lagunas y cuerpos de agua existentes en México se ha generado muy poca información, siendo esta insuficiente considerando que estos ecosistemas son de gran importancia por su extensión, valor científico y por sus recursos naturales. Los sistemas hídricos son unos de los recursos naturales más significativos, basado en que en estos ecosistemas coexisten un sin número de especies de flora y fauna acuática debido a las condiciones que estos sistemas presentan; estos ambientes son utilizados por los organismos como refugio, reproducción, cría y alimentación. Por lo tanto, la relación que se da en estos ecosistemas guarda una dependencia vital en la conservación de organismos asociados a este medio. Lo anterior está establecido por la alta productividad que se manifiesta en estos ecosistemas (Contreras et al., 1994).

Chiapas es uno de los estados con mayores recursos acuáticos e hídricos de México. En el estado se concentra el 30% del agua superficial y cuenta con los dos ríos más caudalosos. Además, tiene un extenso litoral con 10 sistemas lagunares y casi 80 mil km<sup>2</sup> de esteros. Los recursos acuáticos de Chiapas, tanto de aguas interiores como marinos se aprovechan en diferentes modalidades, incluyendo la pesca ribereña, la pesca de mediana altura, la pesca de altura, la pesca continental y la acuicultura.

En este sentido, la presa malpaso formalmente llamada como la presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl, es una de las más importantes en el estado debido al número de pobladores que habitan al margen de esta, siendo su actividad productiva la pesca. Se encuentra ubicada en el cauce del río Grijalva entre los municipios de Berriozábal, Tecpatán y Ocozacoautla de Espinosa en el noroeste del estado de Chiapas, presenta una cuenca alargada y muy profunda con una longitud de 60 km y con una área de 18, 203 Km<sup>2</sup> (Figura 1), esta presa incluye una gran riqueza biológica destacando los ciclidos con 16 especies, a pesar que se han introducido sistemáticamente muchos cíclidos exóticos es importante destacar que la especie nativa *P. splendida* (Cichlidae) constituye el principal recurso pesquero de esta presa (Olmos Tomasini, 2002; Pérez et al., 2002, González-Espinoza et al., 2005). Su dinámica va acorde a las condiciones meteorológicas (Temporada de lluvias y secas). las características climáticas regionales (elevadas temperaturas y lluvias considerables, lo que trae como consecuencia una significativa evapo-transpiración), son las condicionadoras principales que propician en esta zona, una intrincada y particular red de interrelaciones abióticas y bióticas. Si a lo anterior se incluye la interacción social inherente alrededor de estos recursos naturales y la falta de conocimientos biológicos, ecológicos y físico-químicos, las cosas se complican aún más.



Para este estudio se propone como objetivo realizar la caracterización del hábitat de la tenguayaca *P. esplinda* en la Presa Nezahualcóyotl por la importancia económica que representa este organismo en la zona, aunado que esta especie se está considerando como potencial importante para el desarrollo de la acuicultura en la región, es por ello que a partir del análisis de parámetros físico-químicos y su correlación con las zonas de pesca de esta especie, se obtuvo información importante del hábitat de la especie. Sin embargo, cabe destacar que los requerimientos de hábitat de los peces presentan cambios ontogénicos, así como sus dietas, posición jerárquica y trófica (Werner & Hal 1976; Werner & Gill 1984). Por lo tanto, el conocimiento del uso de hábitat de las especies de peces nativos es fundamental, para entender su ecología en sistemas naturales y para establecer medidas de manejo para el desarrollo de técnicas de acuicultura y conservación.

El pescado representa una importante fuente de proteína animal en la dieta de la población humana (Shiau 2001). Sin embargo, cabe destacar que una de las principales fuentes de obtención de este recurso es la pesca de captura, se observado que la producción a través de esta actividad se ha mantenido en alrededor de los 90 millones de toneladas en el mundo, para el 2008 (FAO 2010). Esta es una actividad económica importante para México, sin embargo enfrenta grandes retos, principalmente por el asentamiento de comunidades humanas que se establecen en los márgenes de los cuerpos de aguas, debido a que en los últimos años se ha incrementado notablemente la demanda de los recursos como fuentes de alimento y generadores de empleos directos e indirectos (Compeán-Jiménez, 2006).

En Chiapas, la principal actividad humana es la ganadería, seguida por la agricultura y la pesca ribereña, mientras que la pesca de altamar se concentra en Puerto Madero (Tapia-García & Gutiérrez, 1998).

La estructura y funcionamiento de las comunidades fluviales están fuertemente determinados por la organización, estructura y dinámica del hábitat físico de los sistemas hídricos. Éste se presenta como estructuras del hábitat que varían en cantidad y calidad a lo largo de los sistemas acuáticos (Skyfield & Grossman 2008), y que influyen en la distribución y el uso de hábitat de los peces (Grossman & Freeman 1987; Freeman & Grossman 1993). En este contexto García (2012) confirma que las comunidades biológicas están estructuradas principalmente por el hábitat físico. Conocer el tipo de hábitat que ocupa cada especie a lo largo de su vida es fundamental para comprender su ecología en sistemas naturales y definir estrategias de conservación en sistemas alterados.

La problemática del aprovechamiento pesquero ha sido abordada en el Proyecto de Norma "PROY-038-PESC-2006, Pesca responsable en el embalse Netzahualcóyotl "Malpaso" ubicado en el estado de Chiapas. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros" en él se enlistan las especies bajo protección y las que pueden ser sujetas a explotación, entre estas últimas se encuentra la tenguayaca, además de otras dieciséis especies. De acuerdo con este mismo proyecto la tenguayaca compone cerca del 58%, siendo la especie más capturada, seguido de las especies de tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. niloticus*, *O. mossambicus*, y *Tilapia*



*zillii*) con un 3.2% y el grupo de los ictaluridos como el bagre (*Ictalurus furcatus*) y bagre o bobo liso (*Ictalurus meridionalis*). La producción pesquera total registrada para este embalse en 2005 fue de 155.39 toneladas y en 2006 disminuyó a 102.16 toneladas (DOF 2008). En la región de la Presa Netzahualcoyotl existen dos cooperativas pesqueras, una de reciente creación y otra con una larga trayectoria en la zona; no obstante la presencia de las cooperativas, éstas carecen de información sobre tasas de captura, esfuerzo pesquero, abundancia del producto, entre otros (SEMARNAT, 2001).

En lo que respecta a la tenguayaca se han hecho estudios de tipo taxonómico, descriptivo sobre la especie de los factores bióticos y abióticos (Torral, 1970; Reséndez y salvadores, 1983; Paramo, 1984), Gamboa y Schmitter (1997) estos estudios han dado pauta a posteriores investigaciones sobre los hábitos alimenticios, edad y crecimiento (Santiago, et. al. 1997). Diversidad ictiofaunistica (Rodiles et. al. 1997) y parasitología (Lamothe, 1990; Aguirre y García, 1994). Se ha demostrado que la tenguayaca es una especie susceptible de cultivar ya que para este organismo se tiene bien desarrollada diferentes aspectos para su cultivo como lo describe Jiménez (2004) evaluó el crecimiento relativo en crías de la mojarra tenguayaca sometidas a diferente temperatura, el efecto de la temperatura sobre la ganancia en peso y el factor de conversión alimenticia. Se determinó que los parámetros de crecimiento se mostraron más altos a la temperatura de 34 °C, esto indica que el metabolismo de las crías de la mojarra tenguayaca se ve afectado a temperaturas más bajas y se limita a la ingesta de alimento para generar crecimiento. Martínez (2004) realizó un trabajo donde caracteriza los estadios de desarrollo embrionario y larval, identifica las fases generales del desarrollo y determino la duración de cada estado embrionario y larval. Se realizaron investigaciones sobre la influencia de la temperatura relacionado con el metabolismo de rutina para determinar la tasa metabólica en la tenguayaca (Chan y Páramo, 2002; García y Páramo, 2002). Se describe la reversión sexual (Contreras, 2003; Vidal, 2004).

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio del presente proyecto fue la Presa Malpaso, formalmente llamada como la Presa Nezahualcóyotl, es una presa que se encuentra ubicada en el cauce del Río Grijalva entre los municipios de Berriozábal, Tecpatán y Ocozocoautla de Espinosa en el noroeste del estado de Chiapas (Figura 1). Cuenta con una central hidroeléctrica que tiene una capacidad de generar 1,080 megawatts de energía eléctrica.

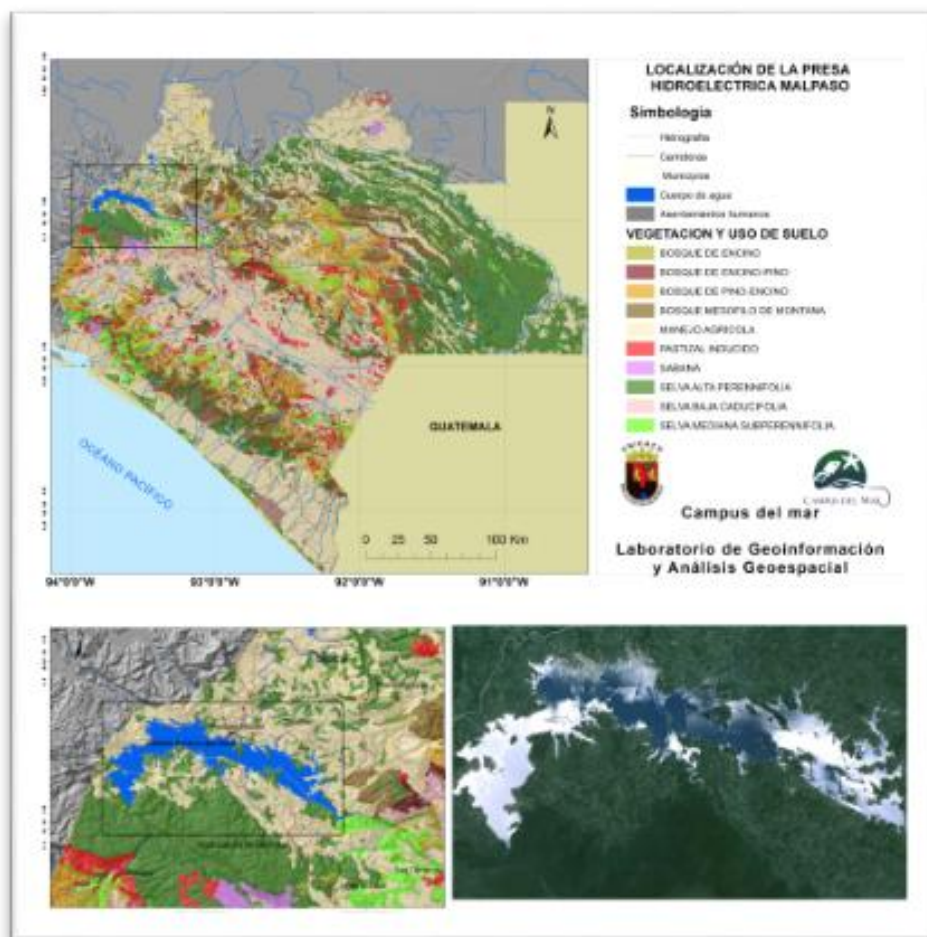


Figura 1.- Localización geográfica de la Presa Nezhualcóyotl Raudales Malpasos, Chiapas

### Fase de campo.

La toma de muestras corresponde a las temporadas de secas (salida 1: marzo, salida 2: mayo) y lluvias (salida 1: julio, salida 2: septiembre) del año 2015. La red de monitoreo para los dos periodos de evaluación conto con 60 estaciones de nuestros distribuido en una malla separada cada 2 km tomando en cuenta las condiciones morfológicas de la presa, se realizaron transectos paralelos y en zigzag. Las estaciones se definieron en gabinete sobre un mapa topográfico a escala 1:50 000. En un Sistema de Información Geográfica (SIG), se definieron las rutas o transectos de muestreo, los cuales se cargaran a un GPS (Global Positioning System), para su posterior navegación en campo, utilizando una lancha fuera de borda y motor de 65 caballos de fuerza.





Para cada periodo y sitio de muestreo se tomaron muestras superficiales de agua, para obtener muestras representativas y no alteradas el material a utilizarse debe estar exento de contaminantes. Para la recolección de las muestras de agua, se utilizaron frascos de polietileno estériles con tapa rosca, obteniéndose muestras de al menos 100 ml. Las muestras fueron tapadas y etiquetadas con identificación de la fuente, fecha y hora de muestreo y otros adicionales referentes al punto de muestreo y se depositaron en una hielera (temperatura inferior a 10 °C.) para su conservación y posterior traslado al laboratorio.

Los parámetros que se analizan in situ fueron temperatura (°C), conductividad eléctrica (CE,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), oxígeno disuelto (OD,  $\text{mg}/\text{L}$ ) para la determinación de estos parámetros se empleo un Instrumento Profesional Plus de la marca YSI (precisión de 0.1°C y 0.01  $\text{mg}/\text{l}$  respectivamente), para la determinación del potencial hidrógeno (pH) se utilizo un equipo pH100 marca YSI.

### **Fase de laboratorio**

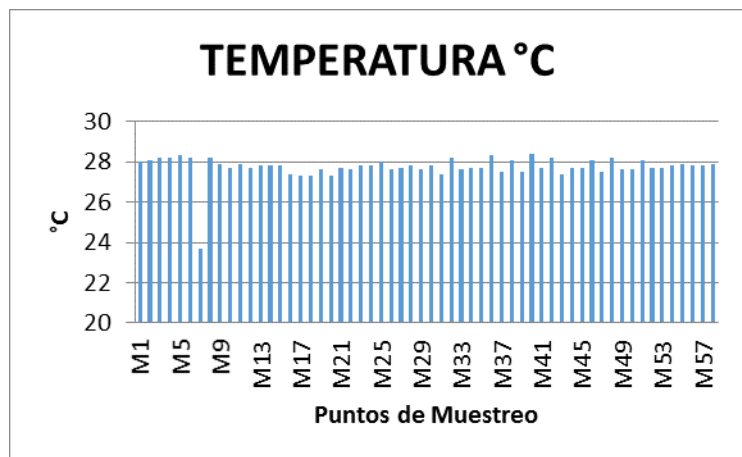
Los parámetros determinados en el laboratorio fueron: sólidos totales, sólidos volátiles totales, alcalinidad total, grasas y aceites, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos. Los nutrientes se analizaron por las técnicas espectrofotométricas descritas en Strickland y Parsons (1972), neutralización de ácidos o bases, colorimétricos: caracterización de la intensidad luminosa con diferentes longitudes de onda, utilizando el espectrofotómetro Spectronic modelo Genesys 2 que emplea métodos adaptados desde estándares para la determinación de agua y agua residual. Para los sólidos totales y sólidos volátiles totales se realizó de acuerdo a la Norma Oficial Mexica

Las coordenadas de cada estación de muestreo servirán para elaborar los mapas del comportamiento espacial de cada uno de los parámetros fisicoquímicos y de calidad del agua tomados en la presa, generando isobatas con datos similares.

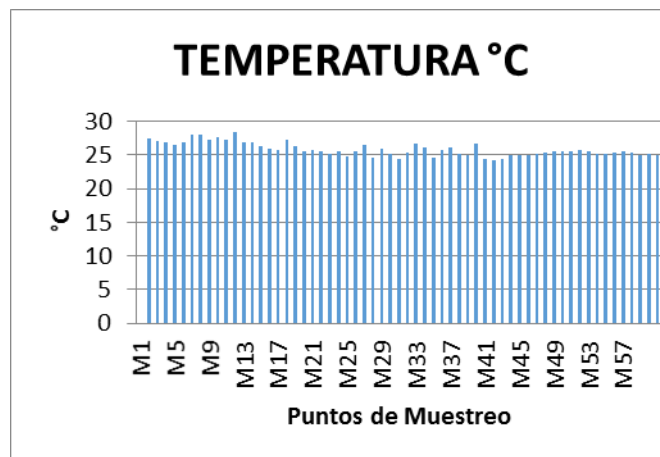
Así mismo estos parámetros ambientales se relacionaran con las zonas en las cuales se realiza la pesca de la tenguayaca por parte de los pescadores de la presa, lo cual se realizo a través de un taller, en el cual los pescadores indicaron sobre un mapa donde se encontraban sus zonas de pesca y anidación de la tenguayaca en la presa.

### **3 RESULTADOS**

Los resultados de la temperatura superficial obtenida en cada una de las estaciones de muestreo para ambas temporadas de muestreo de la presa se presentan en los gráficos 1y 2. Se puede observar que la temperatura tiene un patrón de distribución poco variable en toda la presa, sin embargo se notable que en la parte central y la parte de las entradas y salidas de agua de la presa, la temperatura muestra diferencias esto debido al aporte de agua que se registra en estas zonas.

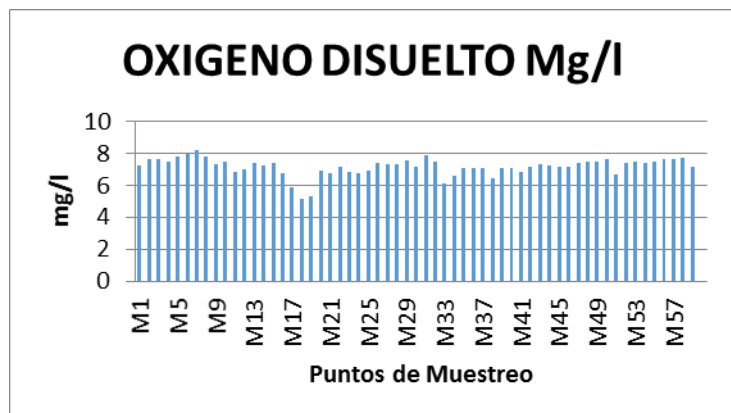


**Grafica 1.-** En la presente grafica representa el tiempo de lluvia, donde se puede apreciar que la temperatura se mantuvo estable con excepción del punto 7 que desciende a 23.7°C

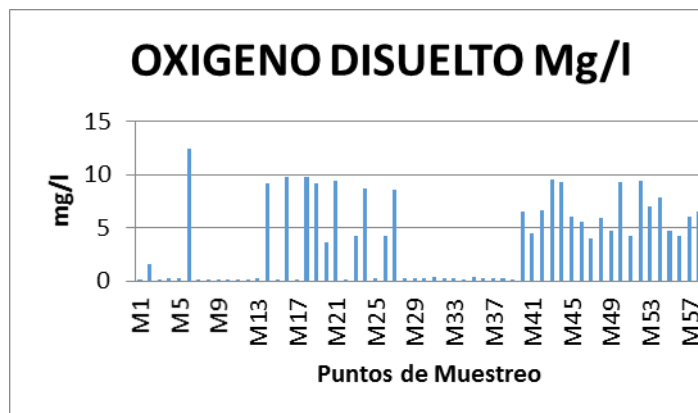


**Grafica 2.-** En la presente grafica se puede ver las variaciones de temperatura registradas durante el tiempo de seca, esto debido a la profundidad y el almacenamiento de los dos principales aportes

Los resultados de la concentración de OD se presentan en las graficas 3 y 4, en temporadas de lluvias y secas respectivamente. Se registro valores altos de 8.21 a 9.8 correspondientes a los puntos de muestreo en la parte este de la presa. Se encontro mayor variacion en la temporada de seca incrementando en las zonas de afluencias de corrientes y disminuyendo en la parte central de la presa.

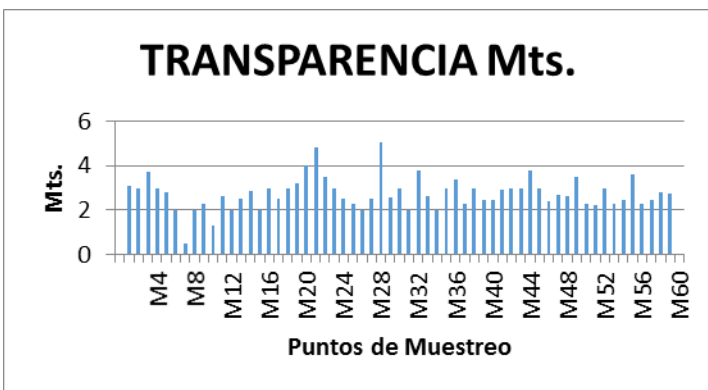


**Grafica 3.-** La presente grafica muestra los rangos registrados en todo el polígono de la presa durante el tiempo de Lluvia, el cual se mantuvo estable.

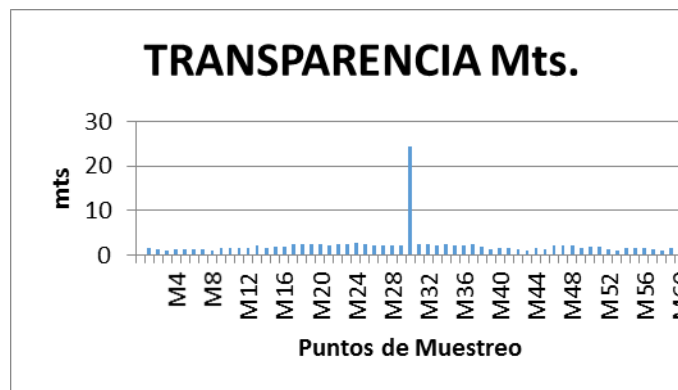


**Grafica 4.-** La presente grafica muestra las variaciones registradas durante el periodo de secas, donde disminuye drásticamente debido a la poca influencia hídrica presente, sin embargo aumente en ciertos puntos, esto debido a la presencia de aporte hídrico por parte de ríos, . . . . .

Los resultado de turbiedad encontrados se muestran en las graficas 5 y 6 en temporadas de lluvias y secas respectivamente. los resultados registrados en las temporadas fueron diferentes, mientras que en la temporada de lluvias se encontro mas homogéneo la turbiedad, en la temporada de seca la transparencia fue menor en la parte sur y este de la presa debido a la influencia de los rios principales de esta.

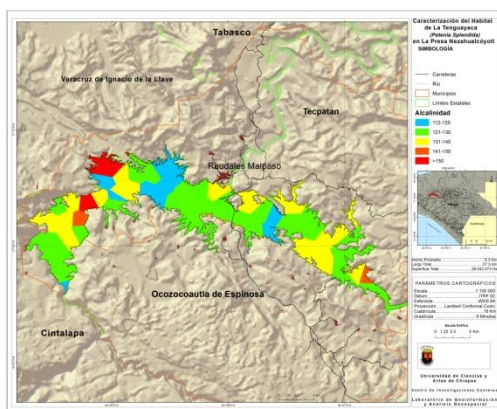


**Grafica 5.-** La presente grafica muestra turbulencia del agua registrados en todo el polígono de la presa durante el tiempo de Lluvias, esto debido a la mucha influencia de los ríos intermitentes que aportan sedimentos

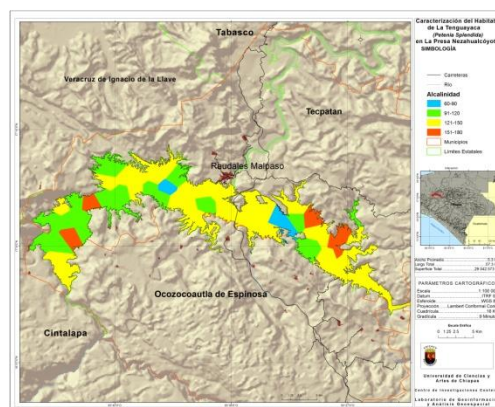


**Grafica 6.-** La presente grafica presenta mayor turbidez en las orillas por el aporte de sedimento de los dos ríos principales.

Se puede observar en los mapas 1 y 2 la tendencia de los diferentes sitios de muestreo respecto a la alcalinidad total. Los resultados mostraron valores altos en la temporada de lluvias, esto debido a la presencia de rocas calizas en la zona y por tanto los deslaves y escurrimientos que aportan este material al cuerpo de agua. los niveles altos encontrados indican una buena capacidad amortiguadora para el agua de la presa y afluentes; lo cual indica la capacidad para amortiguar los cambios de pH.

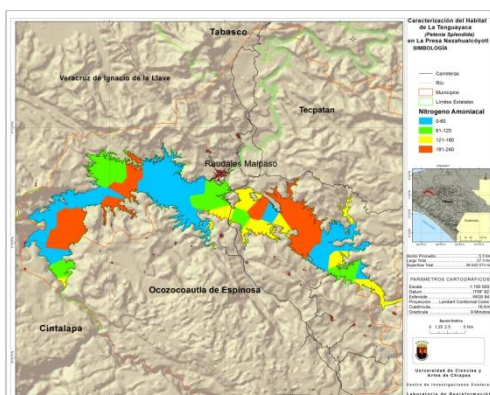


**Mapa 1.-** Los valores de alcalinidad en tiempo de seca, reflejaron índice altos, debido a la presencia de piedras calizas la zona.

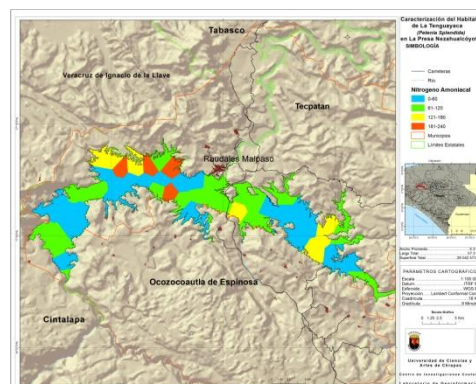


**Mapa 2.-** Distribución de Alcalinidad en tiempo de Lluvia, se encuentra con altos valores de alcalinidad, esto debido a la influencia de los escurrimientos.

Las concentraciones de Nitrógeno Amoniacal se encuentran representadas en los mapas 3 y 4 correspondientes al tiempo de seca y lluvia respectivamente, se encontraron niveles de amonio altos debido a las actividades antropogénicas en la zona, además de la presencia de granjas acuícolas que aportan al cuerpo de agua nitrógeno amoniacal mediante los alimentos para peces



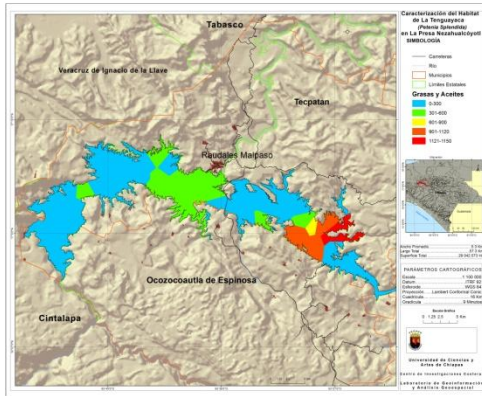
**Mapa 3.-**La Distribución de Nitrógeno Amoniacal en tiempo de Seca, se encuentra altos debido a la presencia de actividades antropogénicas en la zona.



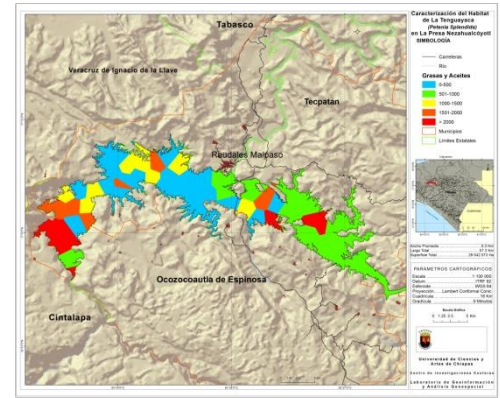
**Mapa 4.-** Distribución de Nitrógeno Amoniacal en tiempo de Lluvia, se encuentra más baja a comparación del tiempo de seca, esto se debe a la presencia aportación de agua de



Se puede apreciar en los mapas 5 y 6 la distribución de las concentraciones de grasas y aceites, en los tiempos de seca y lluvias respectivamente, los resultados mostraron homogeneidad en la presa, a excepción de la parte este de la presa donde se encuentra la influencia de las granjas acuícolas las cuales aportan grasa al cuerpo de agua debido al material alimenticio que ocupa

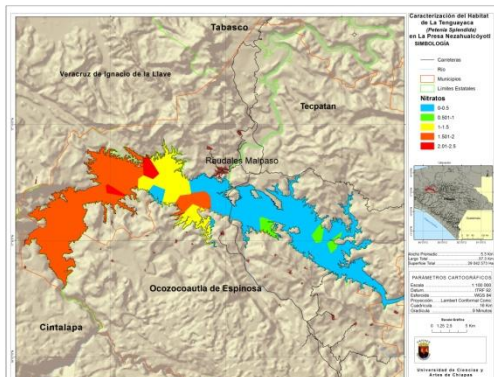


**Mapa 5.-** Las variables de Grasas y Aceites encontradas dentro de la zona fueron en su mayoría bajas, con excepción de muy pocos puntos donde se encuentran las

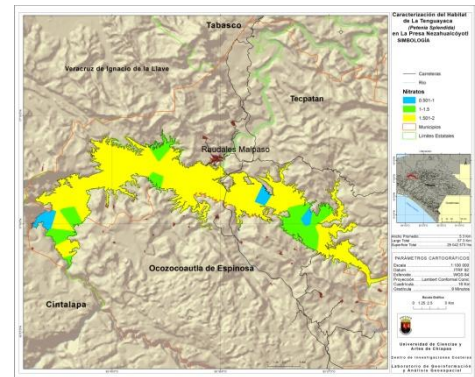


**Mapa 6.-** En la temporada de lluvias las variables de Grasas y aceites fueron más homogéneas debido a la influencia de las corrientes, concentrándose las mayores

Los mapas 7 y 8 muestran los resultados de la concentración de Nitratos en las temporadas de seca y lluvia, dentro de toda la presa. Los datos encontrados muestran altas concentraciones en la temporada de seca con 2.0 a 2.5 mg/l, sin embargo no varió en temporada de lluvias siendo constante con 1.5 a 2.00 mg/l en toda la presa.

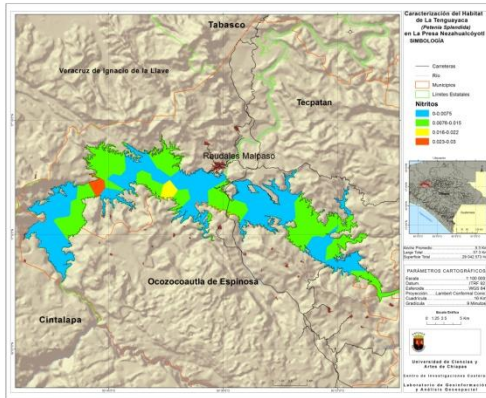


**Mapa 9.-** La Distribución de Nitratos en tiempo de Seca, se encuentra en cantidades elevadas en la parte sur de la presa

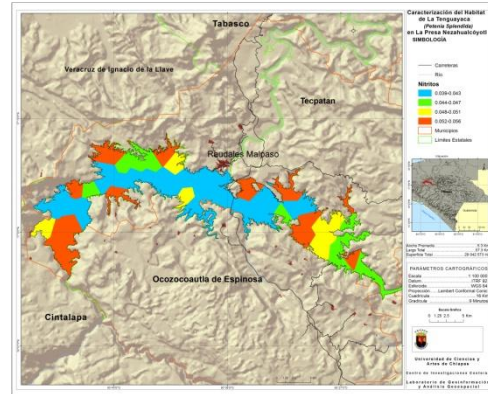


**Mapa 10.-** Distribución de Nitratos en la temporada de Lluvia se encontró más homogénea a lo largo de la

Las concentraciones de Nitritos encontrados se muestran en los mapas 9 y 10. Los resultados obtenidos en la concentración de nitritos fueron en general con pocas variaciones, elevándose un poco las concentraciones en temporada de seca con 0.023-0.030. Considerando los estándares internacionales, el valor encontrado no representa riesgo para la salud humana, o para la vida acuática

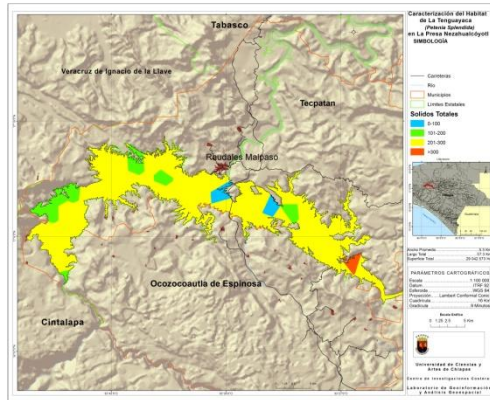


**Mapa 7.-** En el presente mapa se muestran las cantidades de nitritos encontrados en tiempo de seca, los cuales se encuentran elevados

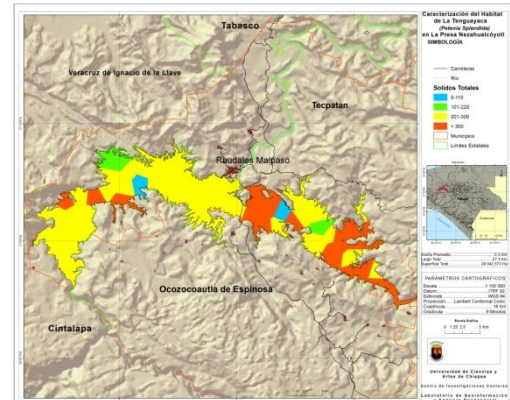


**Mapa 8.-** Las concentraciones de Nitritos encontradas en la temporada de lluvias son más homogéneas debido a que existe mayor influencia de las corrientes y

En los mapas 11 y 12 podemos ver la concentraciones encontradas de sólidos totales, los resultados obtenidos tienden a distribuirse homogéneamente en la temporada de lluvias con concentraciones altas de 220 a >300 mg/l en la mayor parte del cuerpo de agua, sin embargo también se encontraron estas concentraciones en temporada de seca, en la parte sur y este de la



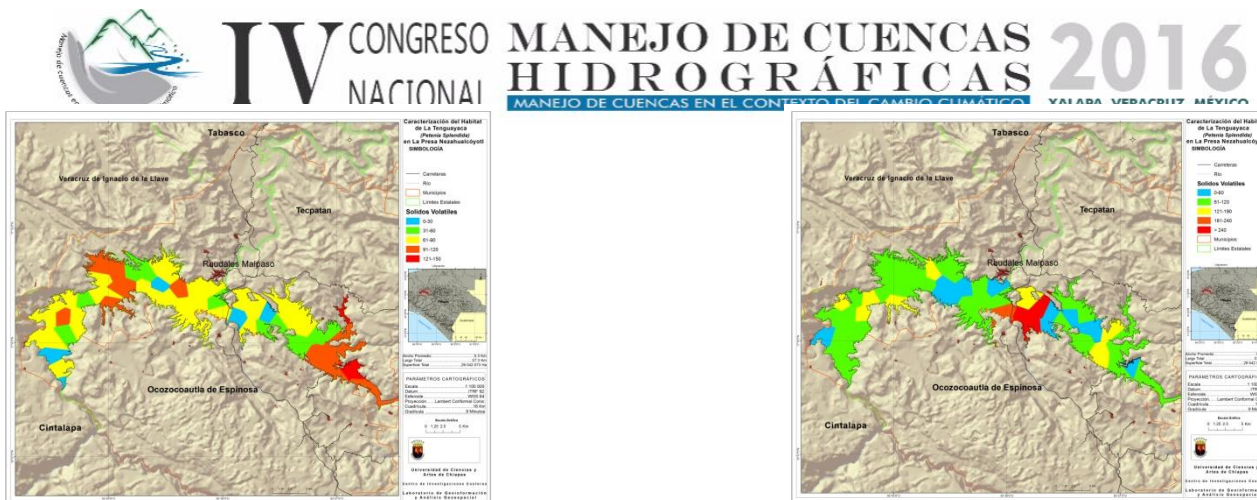
**Mapa 11.-** La distribución de ST en la temporada de seca fue homogénea en toda la presa.



**Mapa 12.-** La distribución de ST en la temporada de lluvia fue homogénea pero en mayor cantidad debido a los aportes de los ríos y arroyos de la zona

Las Concentraciones de Sólidos Volátiles encontrados se muestran en los mapas 13 y 14, se encontraron datos que indican altas concentraciones de sólidos volátiles en la temporada de lluvia de 200 a >300 a lo largo de la presa, sin embargo en la temporada de seca se encontraron concentraciones >240 solo en el centro de la presa, donde se encuentra la granja acuícola más grande de esta.





**Mapa 13.-** Distribución de Sólidos Volátiles en tiempo de Seca.

**Mapa 14.-** Distribución de Sólidos Volátiles en tiempo de Lluvia.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran fluctuaciones en los valores de temperatura producto de la estacionalidad, ya que se midieron los valores máximos de temperatura en primavera (tiempo de secas) y mínimos durante verano (tiempo de lluvia), lo cual corresponde al máximo y mínimo de irradiación solar respectivamente. Por esta razón, algunos parámetros como lo es la concentración de OD, se ven afectado por los cambios de temperatura dentro del cuerpo de agua (Bellingham 2009). En este caso el OD cuenta con múltiples variaciones en tiempo de seca debido al poco aporte hídrico que se presenta en esta temporada, a comparación con el tiempo de lluvia donde el aporte hídrico es mayor y por tanto se cuenta con mayores corrientes hídricas que permiten la oxigenación más homogénea a la presa. Además, Bellingham (2009) señaló que esta variable tiene una alta dependencia con las horas de sol, ya que la actividad fotosintética de algunas plantas acuáticas provoca un aumento en el OD durante el día.

Para el parámetro de pH, los resultados muestran que esta variable tiende a decrecer en la medida en que aumenta la profundidad; esto se debe a que a mayor profundidad existe una menor actividad fotosintética, por lo cual, el pH disminuye (Rosemond et al. 2008). El pH para el agua natural se encuentra por lo general entre 6.5 y 8.5, aunque se pueden presentar ligeras variaciones. A valores extremadamente altos o bajos, como por ejemplo, mayor de 9.6 o menor a 4.5, se puede ocasionar estrés a los organismos endémicos o incluso la muerte (Crites y Tchobanoglous 2000).

Con respecto a los parámetros analizados en laboratorio se obtuvieron muy pocas variaciones, con excepción del nitrógeno amoniacal el cual varía en un cierto punto, puesto que se encuentra cerca de una granja acuícola; la cual se dedica a la reproducción, cría y engorda de la Tilapia, por tanto es donde existe más aporte de productos químicos que contiene el alimento de este pez. Así mismo los sólidos totales en la temporada de lluvias aumentan en un mayor porcentaje en toda la presa, esto debido a la cantidad de solidos que son arrastrados por los tributarios principales que la alimentan, otra de las razones es debido al movimiento hídrico que es más violento en esta temporada esto se debe al gran aporte de agua; en cambio en la temporada de seca los sólidos se depositan en el fondo y en los puntos que se encuentran mayores solidos es debido a las cuencas perennes que siempre están aportando tanto como el recurso hídrico como sedimento a la presa.



Los valores encontrados por las variables de nitritos y nitratos, se encuentran por encima de los mencionados por De La Mora Orozco C. (2013) en la presa La Vega, en donde se obtuvieron valores por debajo de los 0.05 mg/L, esto se debe a que los muestreos realizados en la presa malpaso fueron en tiempo de lluvias donde existen deslaves de las islas que se encuentran en la zona, donde se practican actividades como la agricultura y ganadería, las cuales utilizan químicos para su desarrollo, aunado a esto el crecimiento de las granjas acuícolas es mayor y por tanto el aporte de alimento pelet en el cuerpo de agua es mayor, por lo que las concentraciones de nutrientes van en aumento. Los resultados que se presentan en esta investigación aun se integraran y analizaran más detalladamente, para realizar el análisis correlacional del hábitat de la tenguayaca en la presa.

---

## **5. AGRADECIMIENTOS**

A el PRODEP por brindarme la oportunidad de participar en este proyecto y por el apoyo economico que este me brindo. A los laboratorios de Geoinformación y Analisis Geoespacial y de Nutrición y Produccion Acuícola del Centro de Investigaciones Costeras de la UNICACH, Tonalá Chiapas, por el apoyo y facilidades otorgadas.

## **6. LITERATURA CITADA**

- Able KW, Neuman MJ, Wennhage H. 2005. Ecology of juvenile and adult stages of flatfishes: Distribution and dynamics of habitat associations. In: Gibson RN (ed.), Flatfishes: Biology and Exploitation. Blackwell Publishing, Oxford, UK, pp. 64–184.
- Aguirre, M.M.L., y García, M.L., 1994. Metasarcarias de ciclidos nativos del sureste de México; Taxonomía y claves para su reconocimiento. Universidad y Ciencia. 4(X), 5-33.
- Camprodon, J., Ferreira, M.T., Ordeix, M. 2012. Restauración y gestión ecológica fluvial. un manual de buenas prácticas de gestión de ríos y riberas. Editorial Isa Press 388 pp.
- Chan, R.R., Páramo, D.S., 2002. Efecto de la temperatura sobre el metabolismo de rutina de *Petenia splendida* Günther, 1862. (Pisces: Cichlide). p 76. En: VIII Congreso Nacional de Ictiología. Noviembre 18 – 22 del 2002. Puerto Ángel, Oaxaca, México. Campus Puerto Ángel. Universidad del Mar. pp. 138.
- Compeán-Jiménez, G. 2006. Prologo. Sustentabilidad y pesca responsable en México: Evaluación y Manejo. SAGARPA-INAPESCA. México. 250 pp.
- Contreras, E. F. y O. Castañeda L., A. García N. y M.A. Pérez G. 1994. Las Lagunas Costeras En: Toledo, A. (Coord.) Riqueza y pobreza en la costa de Chiapas y Oaxaca. Parte II: 129-182. Centro de Ecología y Desarrollo, A.C. México, 492 pp.
- DOF. 2008. PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-038-PESC-2006, Pesca responsable en el embalse Netzahualcóyotl Malpaso, ubicado en el Estado de Chiapas. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros. 31 de julio de 2008.



- FAO (2010) Estadísticas de pesca y acuicultura 2008. Roma p 72
- Gamboa, P.H.C., Schmitter, S.J.J., 1997. Distribución de las mojaras (Perciformes:Cichlidae) de la Laguna Bacalar, Quintana Roo. En: Ramírez R. G. (Eds.) Memoria V Congreso Nacional de Ictiología del 3 al 5 de Febrero 1997. Mazatlán Sinaloa. pp. 2
- García, A., González, J., Habit E. 2012. Habitat characterization of native fi sh in the San Pedro River (Valdivia River basin, Chile). Gayana 36-44
- García, P.M. A., Páramo, D.S., 2002. Preferéndum térmico y metabolismo de rutina de *Petenia splendida* Günther, 1862. (Pisces: Cichlide). p 75. En: VIII Congreso Nacional de Ictiología. Noviembre 18 – 22 del 2002. Puerto Ángel, Oaxaca, México. Campus Puerto Ángel. Universidad del Mar. pp. 138.
- Gibson RN. 1997. Behaviour and the distribution of flatfishes. J. Sea Res. 37: 241–256.
- Gonzales-Espinoza, M., Ramírez-Marcial, N., Ruiz-Montoya, L. 2005. Diversidad biológica en Chiapas. Editorial Plaza y Valdés, México 212 pp.
- Graniel, C. E., Carrillo, C. M. E. 2006. Calidad del agua del río Zanatenco en el estado de Chiapas. Ingeniería 10 (3) 35-42
- Grossman, G.D. & Freeman, M.C. 1987. Microhabitat use in a stream fi sh assemblage. Journal of Zoology 212: 151-176.
- Jiménez, P.C., 2004. Efecto de la temperatura en el crecimiento de crías de la mojarra tenguayaca (*P. splendida* Günther, 1862), (Pises, Cichlidae). Tesis Profesional. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. pp. 44
- Lamothe, A.R., Pineda, L.R., 1990. Dos géneros y especies nuevos de trematodos (Cryptogonimidae) parásitos de peces de agua dulce de Tabasco, México. Universidad y ciencia 7(13), 7–13.
- Lankford R.R., 1977. Coastal Lagoons of México. Their Origin and Classification. In M. Wiley (Ed.). Estuarine Processes. Academic Press, 162-21 5 pp.
- Macías, R.E., 1965. Notas preliminares sobre batimetría, salinidad, temperatura, distribución de foraminíferos bentónicos recientes y micromoluscos del estero de Bahía de Todos los Santos. I/ Congr. Nal. Oceanogr. (No se publicaron resúmenes).
- Martínez, M.J.L., 2004. Desarrollo embrionario y larval de la mojarra tenguayaca *P. splendida*. Tesis Profesional. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. pp. 72.
- Olmos Tomasini, E. 2002. Presa La Angostura (Belisario Domínguez), México pag. 590-599 en E.G. de la Lanza y J. L. García Calderón, Editores Lagos y Presas de México. AGT Editor, México, Distrito Federal, México.
- Páramo, D.S., 1984. Ictiofauna del río González y lagunas adyacentes, Tabasco, México. Universidad y Ciencia 1(4), 5-18.





- Pérez, P.A., Cabrera, E., Bermúdez, E.A., Gutiérrez, R.M. 2002. Presa (Dr. Belisario Domínguez (La Angostura) Chiapas paginas 130-165, en Pesquerías en tres cuerpos de agua continentales en México. Instituto Nacional de la Pesca, Instituto Nacional de Ecología y Recursos Naturales y Pesca, México, Distrito Federal, México.
- Reséndez, M.A., Salbadores, V.M.L., 1983. Contribución al conocimiento de la biología del pejelagarto
- Santiago, L.M.C., Jardono. J., Jaramillo, S.G., Reyes, A.J.E., Sanchez, V.A., 1997. Edad, crecimiento y hábitos alimenticios de *Cichlasoma salvini* (Günter), *Cichlasoma urophthalmus* (Günter), *Oreochromis niloticus* (Linneo), y *Petenia splendida* (Günter) presa Miguel de la Madrid H. “Cerro de Oro” Tuxtepec, Oaxaca. En: Ramírez R. G. (Eds.) Memoria V Congreso Nacional de Ictiología del 3 al 5 de Febrero 1997. Mazatlán Sinaloa. pp. 38.
- SEMARNAT. 2001. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote. SAGARPA-CONANP. México. 144 pp.
- Shiau, S-Y. 2001. Applications of fish nutrition research in aquaculture: the Taiwan experience. *Aquaculture Research* 32:639-643
- Skyfield, J.P. & Grossman, G.D. 2008. Microhabitat use, movements and abundance of gilt darters (*Percina evides*) in southern Appalachian (USA) streams. *Ecology of Freshwater Fish* 17 (2): 219-230.
- Tapia-García, M. & B., Gutiérrez Díaz. 1998. Recursos pesqueros de los estados de Oaxaca y Chiapas, Cap. 11:149-162. En: M. Tapia-García (Ed.) *El Golfo de Tehuantepec el ecosistema y sus recursos*, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, ISBN970-654-348-1.
- Toral, A.S., 1970. Los cíclidos de la Laguna de Términos. Tesis profesional. Facultad de ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 21. .
- Bellingham K (2009) Physico chemical parameters of natural water. Stevens Water Monitoring Systems,
- Inc. Disponible en <http://www.stevenswater.com/articles/waterparameters.aspx>. Fecha de consulta 22

de octubre de 2012.



Extenso ID: 23. Nayeli Heredia Vázquez y J.A. Aké Castillo. EVALUACIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN EL ESTUARIO DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA-COTAXTLA

[Regresar al índice](#)

<sup>1</sup>Instituto tecnológico de Boca del Río. [Dirección:](#) Carretera Veracruz-Córdoba Km 12, El Dorado, 94290 Boca del Río, Ver, email: heredianayeli@hotmail.com

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías – Universidad Veracruzana. [Dirección:](#) Miguel Hidalgo 616, Río Jamapa, Boca del Río, email: aake@uv.mx

## RESUMEN

Una de las principales formas de caracterizar un sistema acuático es la determinación de su estado trófico. En las aguas dulces, el nutriente que más incide en la eutrofización es el fósforo ya que los compuestos de éste conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales. El río Jamapa se encuentra influenciado por la agricultura, la erosión del suelo, la descarga de efluentes domésticos no tratados y los provenientes de industrias. Para determinar el estado trófico de este río, se tomaron muestras superficiales de agua, a pie de río, cada 15 días durante los meses de Octubre y Noviembre del 2015. El sitio de muestreo 1 se ubica del lado que tiene influencia de Arroyo Moreno, y el sitio de muestreo 2 se ubica del lado donde tiene más influencia del río Jamapa-Cotaxtla. Se seleccionaron estos dos sitios del estuario para hacer una comparación de la concentración de fósforo y de la temperatura. Se midió la temperatura de cada muestra al momento y se analizó la concentración de fósforo total por digestión ácida, con el método del ácido ascórbico, y la concentración ortofosfatos. Los resultados mostraron que en el sitio 1 hay mayor cantidad de fósforo que en el sitio 2. En promedio se obtuvo  $173 \text{ mg/m}^3$  de Fósforo total que sobrepasa la media del nivel eutrófico. La temperatura varió en cada muestra pero en su mayoría en el sitio 1 fueron más altas que en el sitio 2, alcanzando una temperatura máxima de  $30^\circ\text{C}$ . El río Jamapa en su parte baja se considera en estado eutrófico, pudiendo alcanzar valores de hipertrofia.

**Palabras clave:** Estuario, eutrofización, Veracruz

## INTRODUCCIÓN

Una de las principales formas de caracterizar un sistema acuático, es la determinación de su estado trófico (Villaseñor, 2001). El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. Actualmente se considera como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas y un gran aumento en su concentración puede provocar la eutrofización. La cuenca del río Jamapa-Cotaxtla se encuentra ubicada entre los  $18^\circ45'$  y  $19^\circ14'$  latitud norte, y entre  $95^\circ56'$  y  $97^\circ17'$  longitud oeste y desemboca en el Golfo de México en la población de Boca del Río (Figura 1). El estuario del río Jamapa recibe grandes cantidades de nutrientes, entre estos el fósforo, debido a la expansión de los asentamientos humanos, como los municipios de Medellín, Boca del Río y Veracruz (López et al., 2009). El objetivo de este trabajo fue evaluar la concentración de fósforo total como indicador de la eutrofización del estuario del río Jamapa ya que este río se encuentra influenciado por la agricultura, la erosión

del suelo, la descarga de efluentes domésticos no tratados y los provenientes de industrias. Como resultado, la carga de materia orgánica es generalmente alta, lo cual favorece el incremento de la concentración de fósforo, y en consecuencia podrían aparecer mareas rojas lo que afectaría la pesca, aumentando la mortandad de peces, que es una de las actividades más importantes en Veracruz.



Figura 1. Sitios de muestreo 1 y 2 en el estuario del río Jamapa

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras superficiales de agua, a pie de río, cada 15 días durante los meses de octubre y noviembre. El sitio de muestreo 1 se ubica del lado que tiene influencia de Arroyo Moreno, y el sitio de muestreo 2 se ubica del lado donde tiene más influencia del río Jamapa-Cotaxtla. Se seleccionaron estos dos sitios del estuario ya que así se pudo hacer una comparación de la concentración de fósforo y de la temperatura. Se midió la temperatura al momento de la toma de las muestras. En laboratorio el mismo día de muestreo se analizó la concentración de fósforo total por digestión ácida (Sanabria, 2004), y la concentración ortofosfatos con el método del ácido ascórbico (APHA-AWWA-WEF, 2005), realizando las lecturas en un espectrofotómetro a una longitud de onda a 880 nm. Se utilizó Excel para realizar gráficas comparativas entre los resultados de fósforo total, ortofosfatos y temperatura de los dos sitios de muestreo del río.

## RESULTADOS

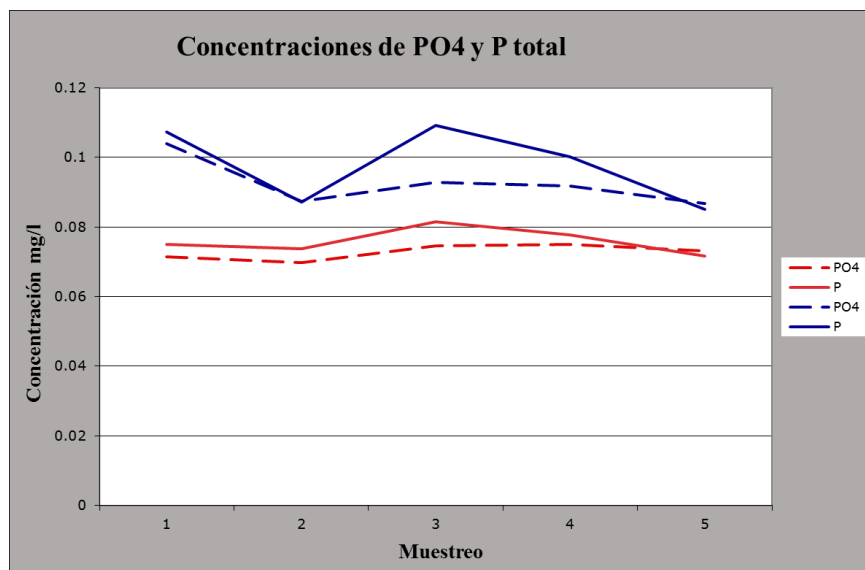


Figura 2. Concentraciones de Fósforo total (Pt) y ortofosfatos (PO4) del sitio de muestreo 1 (líneas azules) y sitio de muestreo 2 (líneas rojas) del estuario del río Jamapa.

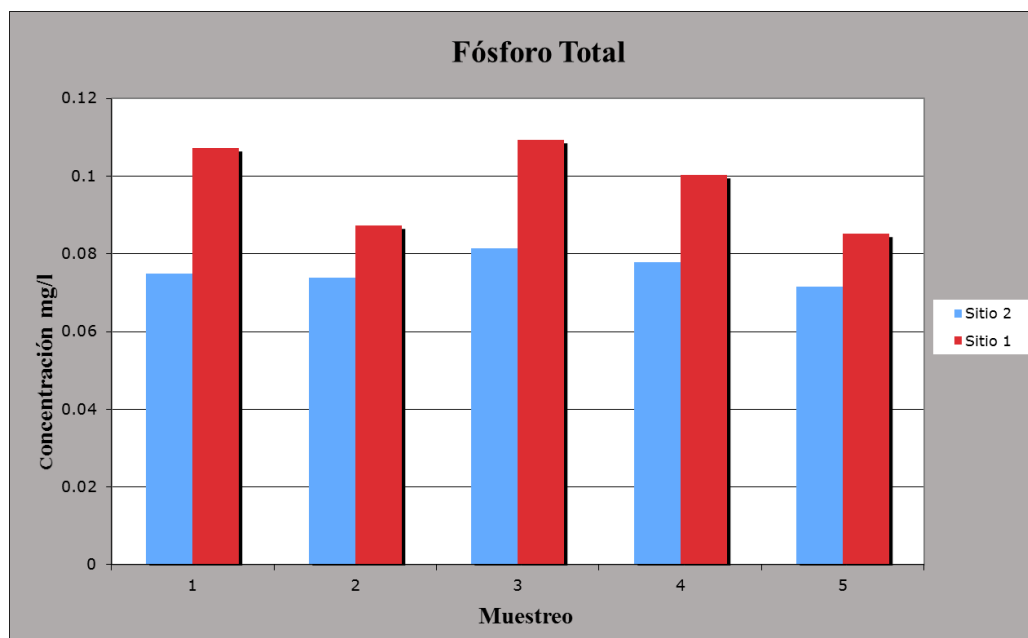


Figura 3. Comparación del fósforo total del sitio de muestreo 1 y sitio 2 del río Jamapa.

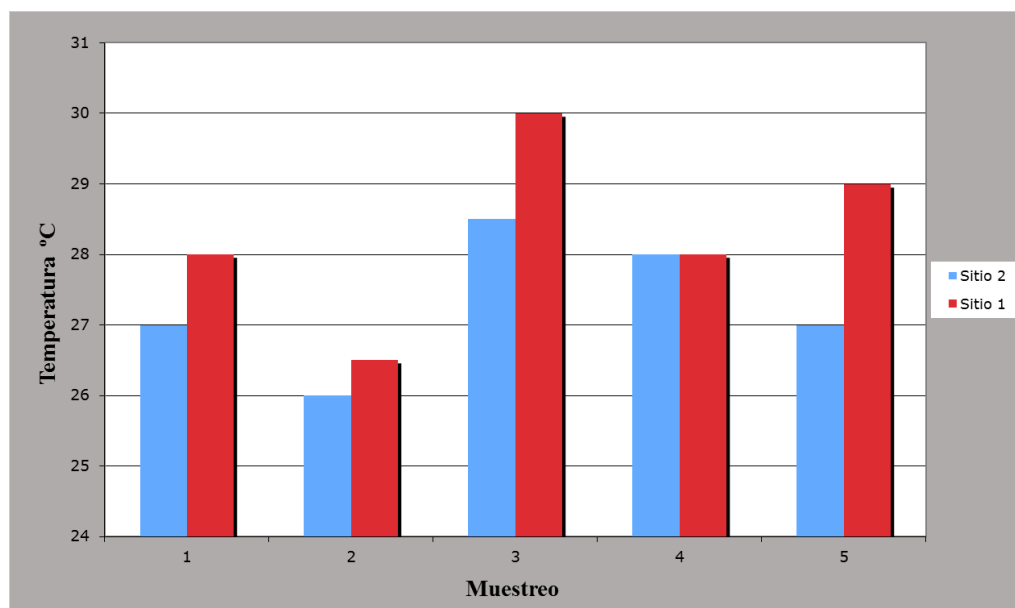


Figura 4. Comparación de la temperatura del sitio 1 y del sitio 2 del estuario del río Jamapa.

La mayor concentración de fósforo total del sitio 1 fue de 0.109 mg/L y del sitio 2 fue 0.081 mg/L. De ortofosfatos en el sitio 1 la concentración más alta fue de 0.103 mg/L y del sitio 2 fue de 0.074 mg/L. En la figura 2 se puede observar la concentración de fósforo total y ortofosfatos del sitio 1 y 2 de muestreo. Las concentraciones de fósforo total se observaron más elevadas que las concentraciones de ortofosfatos, ya que el ortofosfato es sólo uno de los compuestos del fósforo pero es una de sus formas más importantes. El sitio de muestreo 1, que tiene influencia de Arroyo Moreno, sus concentraciones de fósforo total fueron más elevadas que en el sitio de muestreo 2 (Figura 3). La temperatura es un indicador de la calidad del agua, y de las 5 tomas de muestra, en 4 se observó que el sitio 1 fue mayor la temperatura que en el sitio 2 (Figura 4). La temperatura más alta fue de 30°C en el sitio 1.

**Tabla 1.** Concentraciones de fósforo total en los muestreos del sitio 1 y del sitio 2 y los valores de referencia de fósforo total asociado con los niveles tróficos según (Vollenweider y Kerekes, 1980).

Fósforo total (Pt) mg/m <sup>3</sup>				Valores de referencia (Vollenweider y Kerekes, 1980)	
Muestreo	Sitio 1	Sitio 2	Promedio	Niveles tróficos	mg/m <sup>3</sup>
1	107.298	74.996	91.147	Oligotrófico	8
2	87.252	73.761	80.506	Mesotrófico	27
3	109.293	81.4566	95.375	Eutrófico	84
4	100.268	77.751	89.009		
5	85.161	71.575	78.368		

*Nota:* Fondos rojo eutróficos. Fondo verde mesotróficos.



**Tabla 2.** Concentraciones de fósforo total en los muestreos del sitio 1 y del sitio 2 y los valores de referencia de fósforo total asociado con los niveles tróficos según (OCDE, 1982).

Fósforo total (Pt) µg/L				Valores de referencia OCDE (1982)	
Muestreo	Sitio 1	Sitio 2	Promedio	Niveles tróficos	µg/L
1	107.298	74.996	91.147	Oligotrófico	< 10.0
2	87.252	73.761	80.506	Mesotrófico	10 - 35
3	109.293	81.456	95.375	Eutrófico	35 - 100
4	100.268	77.751	89.009	Hipertrófico	>100
5	85.161	71.575	78.368		

*Nota:* Fondos rojo oscuro, eutróficos. Fondo verde, hipertróficos.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Según los valores que mencionan Vollenweider y Kerekes, el sitio 1 está dentro un nivel eutrófico, mientras que el sitio 2 está dentro un nivel mesotrófico pero en promedio se observa que está en un estado eutrófico (Tabla 1). En comparación con la OCDE, el sitio 2 se encuentra en estado eutrófico mientras que en tres de los muestreos del sitio 1 resultaron estar en un nivel hipertrófico, pero en promedio está en estado eutrófico (Tabla 2).

En la figura 4 muestra que la temperatura variaba en todos los muestreos pero en el sitio de muestreo 1 las temperaturas fueron más altas que el sitio de muestreo 2. En las aguas superficiales, un exceso de fósforo, en combinación con temperaturas altas y luz solar, estimula el crecimiento de algas (Iida & Shock, 2009),

Las principales fuentes de contaminación de los cuerpos de agua del Estado de Veracruz provienen de efluentes de origen urbano, de la actividad agrícola y de la industria (Palomarez, 2010). Dichas fuentes de contaminación generan la eutrofización de los cuerpos de agua y daños importantes a la biota acuática y al ecosistema en general, por la presencia de contaminantes químicos, biológicos, y que además, afectan directamente a otras actividades productivas y al ser humano por el uso de estos recursos (Palomarez, 2010). En esta evaluación se observa en los resultados una diferencia entre los dos puntos de muestreo del río, demostrando que el sitio de muestreo 1, teniendo influencia de Arroyo Moreno que pasa por zonas conurbadas, tiene una mayor concentración de fósforo y mayor temperatura que el sitio de muestreo 2. El estuario del río Jamapa está en promedio en un estado eutrófico según los valores de referencia de Vollenweider y Kerekes y la OCDE debido a las grandes concentraciones de fósforo.

## AGRADECIMIENTOS

Quede constancia de mi gratitud al Dr. José A. Aké Castillo del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías por su enseñanza y sugerencias para la elaboración de éste proyecto.



## LITERATURA CITADA

- APHA-AWWA-WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 4-139 a 4-141, 4-144, 4-146 y 4-147, método 4500-P A, C y E.
- Iida, C. y Schok C. 2009. El dilema del fósforo. Técnicas para la Agricultura sostenible. Universidad Estatal de Óregon. Estados Unidos, pág. 5.
- López, J., Gómez, L., Lara, A., Ávila, Á. y Vázquez, A. 2009. Caracterización del sitio de manglar Arroyo Moreno, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. México, D.F., pág. 17.
- OCDE. 1982. Eutrophication: monitoring assessment and control. Organization for Economic Cooperation and Development. Paris, pág.154.
- Palomarez J. 2010. Valoración de la calidad de los influentes y efluentes de las granjas acuícolas de la cuenca baja del Río Jamapa, Veracruz. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. México, pág. 5
- Sanabría, D. 2004. Fósforo Total en agua por digestión ácida, método del ácido ascórbico. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Colombia, pág.14
- Villaseñor, J. 2001. Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas. Tesis doctoral. Universidad de Castilla- La Mancha, pág. 356.
- Vollenweider, A. y Kerekes J. 1980. Back- ground and Summary Results of the OECD Cooperative Program on Eutrophication. In: Proceedings of an International Symposium on Inland Waters and Lake Restoration. U.S. Environmental Protection Agency. EP A 440/5-81-010, pág. 26- 36.



Extenso ID: 65. José Ricardo Ortega Peña, Marisol Gallardo Ángeles. ORDENAMIENTO ACUÍCOLA EN LAS MICROCUENCAS TENANGO Y NUEVO NECAXA DENTRO DEL MUNICIPIO DE HUAUCHINANGO, PUEBLA.

[Regresar al índice](#)

Iso Ambiental S de R.L. de C.V.

### **Resumen:**

La acuicultura es una actividad con muy alto potencial en México. Puebla es el segundo estado productor de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) a nivel nacional, siendo el municipio de Huauchinango la zona de mayor producción. En este municipio se reportan 18 granjas acuícolas, sin embargo, se tienen establecidas más de 100 unidades de producción, mismas que además están dentro del ANP, Área de Protección de Recursos Naturales Zona Protectora Forestal Vedada “Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa”. Las microcuencas Nuevo Necaxa y Tenango tienen incidencia en el municipio de Huauchinango, donde se ha establecido un gran número de granjas acuícolas de manera irregular. Se desconoce el impacto de las granjas en las corrientes, así como la capacidad de producción acuícola de la microcuenca.

Es necesario determinar los efectos ambientales que ocasiona la operación de una unidad productora, en relación con la capacidad de producción instalada, así como el número de granjas que se pueden establecer sobre una misma corriente sin comprometer el caudal ecológico en las microcuencas. Mediante el monitoreo periódico de la cantidad y calidad del agua en las entradas y salidas de las granjas establecidas, identificar la distancia optima entre las unidades de producción, de esta forma garantizar la permanencia de los sistemas productivos y las condiciones ecológicas de las microcuencas.

Entre los primeros efectos visibles de la falta de ordenamiento acuícola en la cuenca, destaca por ejemplo que el servicio de agua potable del Huauchinango, ha tenido problemas con la cantidad de agua de calidad para consumo de la población. Problema que se ha vinculado con el agua utilizada en las granjas acuícolas instaladas en la parte alta de las cuencas. Por lo que la ordenación de las unidades de producción acuícola, no solo contempla la producción de trucha, sino también la disponibilidad de agua para el uso en otras actividades, el suministro de agua potable y los procesos ecológicos dentro del Área Natural Protegida.

**Palabras Clave:** Acuicultura, capacidad de producción, granjas acuícolas, Área Natural Protegida.



Extenso ID: 310. María Teresa Leal Ascencio, Itzel Rolón Rodríguez, Yolanda Cocotle Ronzón. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE BANDERILLA, VER., SOBRE EL PARQUE LINEAL QUETZALAPAN-SEDEÑO.

[Regresar al índice](#)

Universidad Veracruzana

### Resumen:

En el 2014 se evaluó durante diez semanas la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Banderilla, Ver., se realizaron muestreos semanales para caracterizar las aguas afluentes, en tratamiento y afluentes a partir de parámetros fisicoquímicos, también se determinaron los parámetros básicos de operación y la eficiencia de remoción de la planta, con estos datos se determinó que la PTAR cumplía con la NOM-001-SEMARNAT-1996. Sin embargo, los valores presentados en los parámetros de operación no son los recomendados para el sistema de tratamiento, lo que indica que no operaba de manera correcta. La operación fuera de especificaciones lleva a que la planta tenga un impacto negativo en la cuenca, específicamente sobre el río Sedeño y el Parque Lineal Quetzalapan-Sedeño, que están en las inmediaciones de la descarga. La mala calidad del agua en el efluente de la PTAR modifica la vida acuática, causados por exceso de nitrógeno amoniacal, materia orgánica parcialmente degradada y microorganismos patógenos, entre otros. El impacto para el Parque Lineal Quetzalapan-Sedeño, declarado el pasado 23 de marzo del presente año como Área Natural Protegida de competencia estatal, en la categoría de Corredor Ripario y único en su tipo, significa pérdida de valor, modificación de la flora del bosque mesófilo, riesgo de enfermedades y malos olores para los usuarios. Más allá de esto, limita la vocación del Parque como un área de acercamiento a la naturaleza.

**Palabras Clave:** Conductividad eléctrica, DBO, DQO, eficiencia de remoción.



**IV** CONGRESO  
NACIONAL

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

**2016**  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

**Mesa 9. Riesgos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático con enfoque de cuenca.**





Extenso ID: 160. Wendy Morales Barrera, Sergio Rodríguez Elizarrarás. PELIGROS GEOLÓGICOS MÁS RECURRENTES EN LAS CUENCAS DEL ESTADO DE VERACRUZ Y SU IMPACTO.

[Regresar al índice](#)

### Resumen:

En el estado de Veracruz se localizan 12 cuencas principales y 8 cuencas secundarias; estas son impactadas año con año por fenómenos hidrometeorológicos, sin embargo, en la última década la ocurrencia de los peligros geológicos ha causado también severos daños; solo por mencionar un dato, en el 2013 se registraron 789 deslizamientos, 4.5 y 10 veces más a los registrados en el 2010 y 2005 respectivamente.

Por ello, para poder establecer una estrategia adecuada de gestión de cuencas, en donde uno de los principales objetivos sea la previsión, prevención y mitigación, es fundamental el conocimiento del tipo y ocurrencia de fenómenos geológicos que pueden causar un desastre, para poder establecer las acciones, instrumentos de política y participación que puedan prevenir y mitigar sus efectos, e incluso acciones antes, durante y después de ocurrido el fenómeno.

En este trabajo se analizan los peligros geológicos referentes a la inestabilidad de laderas, hundimientos de terreno por karsticidad y túneles de lava, lahares y flujos de escombros, licuefacción y sismicidad teniendo a la cuenca como unidad espacial de referencia.

El peligro más recurrente es la inestabilidad de laderas, y su mayor incidencia es en las cuencas de Misantla, Nautla, Actopan, La Antigua, Jamapa-Cotaxtla y Papaloapan. El peligro sísmico está presente en las cuencas Papaloapan, Coatzacoalcos, Tonalá, mientras que el fenómeno de hundimiento por karsticidad se distribuye en las cuencas de Tecolutla, Misantla, La Antigua, Jamapa-Cotaxtla, Papaloapan. Las Cuencas del Papaloapan, Jampa-Cotaxtla y la Antigua son impactadas por lahares y flujos de escombros derivados de la cadena volcánica Pico de Orizaba-Cofre de Perote.

Por lo anterior es fundamental tener un adecuado conocimiento de la geología y geomorfología de una región, ya que nos proporcionan información importante para conocer y determinar la zonificación y ocurrencia de los peligros. Una geología a detalle nos muestra la distribución y las características (tipo de roca, edad, estructuras como fracturas, pliegues, fallas) de las diferentes unidades geológicas. Mientras que la geomorfología nos da información de las variaciones altimétricas y de inclinación del terreno lo que dan origen a las diferentes geoformas como sierras, mesetas, valles, lomeríos y planicies.

**Palabras Clave:** Inestabilidad de laderas, lahares, prevenir, mitigar.



Extenso ID: 212. Carlos López Badillo, Juan Cervantes Pérez y Néstor Martínez Galván.  
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA CUENCA DEL  
RÍO COLIPA A PARTIR DE LA INTERVENCIÓN DE “KARL”

[Regresar al índice](#)

Universidad Veracruzana <sup>a,b,c</sup>

## RESUMEN

Los estudios de los fenómenos meteorológicos han dado una estimación de los impactos que puedan generar en aspectos económicos, sociales y ambientales en un determinado lugar. Estas estimaciones sirven para que, eventualmente, se propongan acciones de prevención y reacción ante la presencia de fenómenos meteorológicos extremos (IPCC, 2014). El cambio de uso de suelo es un factor que puede favorecer o perjudicar según sean las condiciones de la zona, así como de las necesidades económicas y sociales de los habitantes. En la cuenca del río Colipa, el cambio de uso de suelo forestal por el pecuario ha generado impactos negativos en cuanto al recurso suelo se refiere, como erosión y escorrentía, así como problemas relacionados por los impactos de la deforestación.

En el año 2010, con la presencia del huracán Karl, los problemas por el cambio de uso de suelo en la cuenca se intensificaron, por lo cual se realizó un análisis de sensibilidad ante este cambio de uso del recurso, a partir de tres modelos de lluvia-escurrimiento considerando los datos de precipitación del año 2010 de las estaciones Vega de Alatorre, Misantla, Juchique y Acatlán, para lo cual se modificó el número N de escurrimiento para obtener las variaciones de gasto del modelo original y tener una estimación del deterioro forestal en la cuenca si se llegara a presentar algún fenómeno meteorológico extremo e un periodo de retorno de cinco y 100 años.

**Palabras clave:** Colipa, Karl, suelo, sensibilidad, escurrimiento

## 1. INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático en el planeta han causado variaciones severas en el comportamiento habitual de los fenómenos meteorológicos, generando daños que no solo afectan al país en aspecto ambiental, sino también en el aspecto económico y social (Sánchez y Cavazos, 2015). En Veracruz, fenómenos como ondas tropicales, ciclones y huracanes han dejado como consecuencia inundaciones en gran parte del Estado, siendo uno de los desastres al que más se le ha prestado atención por medios de comunicación e investigación.

El río Colipa ha sufrido el impacto de estos eventos, un ejemplo es la llegada del huracán Karl en 2010, afectando el uso de suelo forestal con respecto a años anteriores.



El uso de suelo en la cuenca del río Colipa ha sufrido grandes cambios por las actividades agrícolas y ganaderas, provocando que el suelo pierda diferentes propiedades y generando problemas de erosión y una intensificación en el escurrimiento (Acevedo y Llanos, 2014). Un ejemplo fue el impacto que tuvo sobre el municipio de Colipa, dejando severos problemas en cuanto al recurso forestal posterior a la presencia de Karl.

### 1.5. Marco Contextual

La corriente del río Colipa (Figura 2) se origina con el río Yecuatla, en el parteaguas colindante a la región hidrológica No. 28, a una elevación de 1, 900 km. Y a un kilómetro. Al oriente de Chiconquiaco, Veracruz. El río fluye a través de terrenos de topografía accidentada en una longitud aproximada de 20 km., poco después se sitúa en terreno plano a la altura de la población de Colipa, Veracruz. Es en esta parte donde adquiere el nombre de Río Colipa y tres kilómetros aproximadamente aguas abajo, cambia de curso dando origen a Laguna Grande y Laguna Chica, para posteriormente desembocar en el Golfo de México. La condición del tramo es sinuosa, debido a la extracción de materiales y presenta material arcillo-arenoso y rocas. La sección es ligeramente esviada e irregular donde en su lecho se encuentra arena y grava en cuanto a la sección de aforo se refiere (INEGI, 2015).

La cuenca del río Colipa pertenece administrativamente al Consejo de Cuenca de los ríos Tuxpan al Jamapa. Esta cuenca cuenta con una superficie de pastizal de 47.10%, de cultivo temporal un 21.40%, mientras que una cubierta de bosque mesófilo de montaña es de 14.40%. Persiste un clima cálido húmedo de 44.6%, clima subcálido húmedo de 26.03%, cálido subhúmedo de 14.04%, templado húmedo de 9.24% y un 6.11% de cálido subhúmedo. El río Colipa cuenta con un área de 1,4182.75 km<sup>2</sup> de humedales y las principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería (CONAGUA, 2012).

Tabla 1. Datos fisiográficos de la cuenca del río Colipa

Características Fisiográficas de la cuenca del Río Colipa	
Área drenada	215.38 Km <sup>2</sup>
Longitud	41.76 m
Tiempo de concentración	213.29 (minutos)
Pendiente media	5.16%
Elevación máxima	2, 119 m
Elevación media	1, 079 m
Elevación mínima	40 m

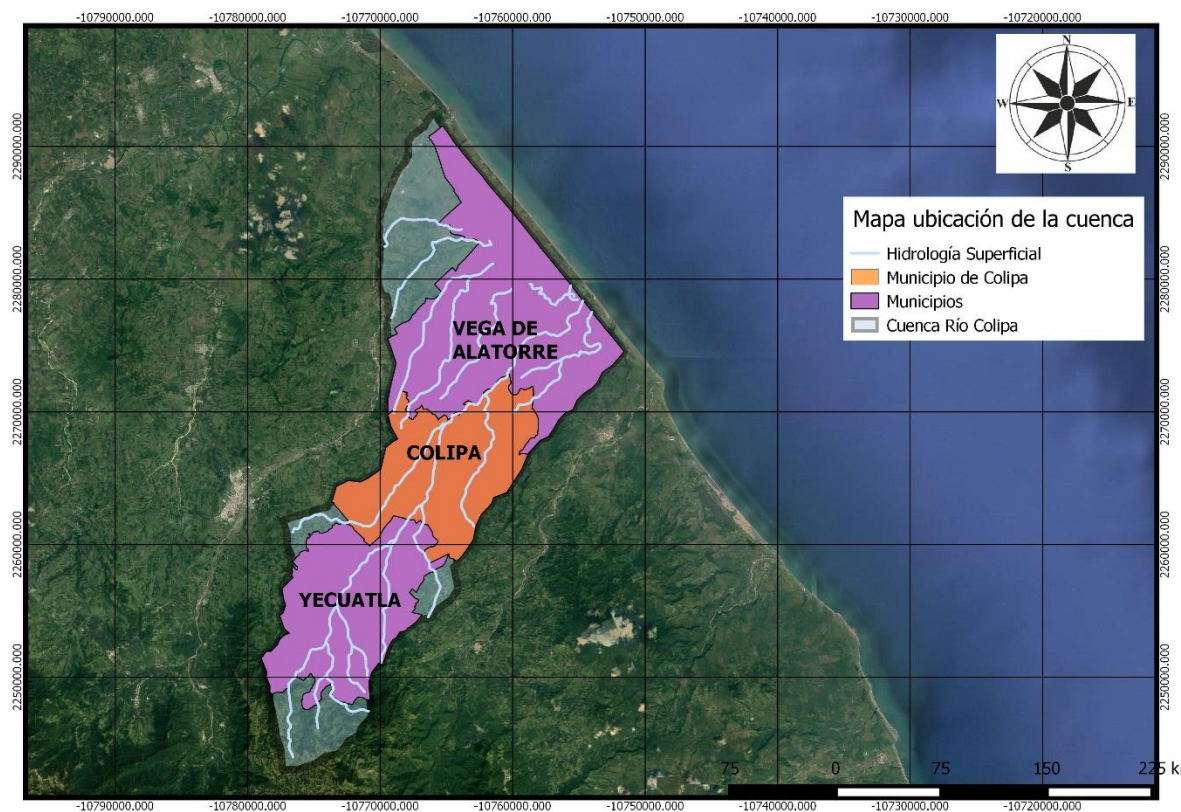


Figura 2. Mapa de localización de la cuenca del río Colipa

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el cálculo del Gasto Máximo se realizaron los análisis probabilísticos de los datos las estaciones climáticas de Vega de Alatorre, Misantla, Juchique y Acatlán del año 1960 al 2005, con un periodo de retorno de cinco y 100 años. Mediante la carta de uso de suelo y vegetación, en escala 1:50000, por parte del Instituto Nacional de Geografía (INEGI) se obtuvo un valor ponderado del número N de escurrimiento con un valor de 71.25.

Ya con los datos fisiográficos de la cuenca se calculó el cauce mediante el método de Taylor-Chawarz con un resultado de 0.014 milésimas, así como el tiempo de concentración mediante el método de la Soil Conservation Service, con un valor de 4.52 horas, además el resultado del cálculo del coeficiente de Kuishiling, con un valor adimensional de 0.63 y para complementar el análisis se calculó la precipitación media para los periodos de retorno antes mencionados (Aparicio, 1989).

Se realizaron tres modelos de lluvia-escurrimiento en la cuenca mediante los métodos de Ven Te Chow, Hidrograma Unitario y el método Racional, con la finalidad de obtener un ajuste en los resultados y comparar cada método para simular una realidad de acuerdo a los sucesos acontecidos en la cuenca durante la presencia del fenómeno.



Tabla 2. Datos para el cálculo de la precipitación media

Río Colipa	
Área de la cuenca	215.38 km <sup>2</sup>
Longitud del cauce principal	41.76 km
Desnivel del CP	1,942 m
Cauce Taylor-Chwarz	0.01462 milésimas
Coeficiente de Kuishiling	0.63 adimensional

Tabla 3. Resultados de la precipitación media de la cuenca

Resultado del análisis probabilístico de la precipitación media	
Tr	hp
5	172.9
100	292.4

Tabla 4. Resultado de la aplicación de los tres modelos de lluvia escurrimiento para un N de 71.25

N=71.25			
Gasto Máximo (m <sup>3</sup> /seg)			
Tr años	Racional	HUT	VTC
5	399.36	363.06	292.94
100	1039.02	944.57	762.14



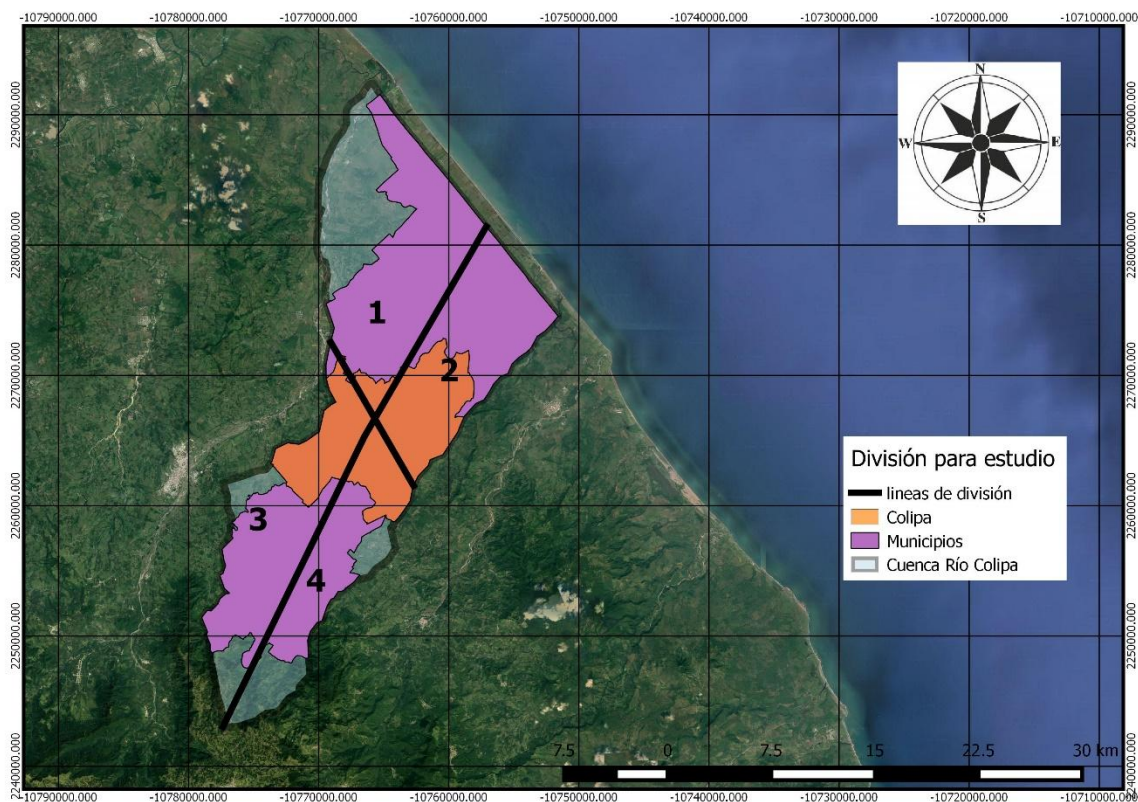


Figura 3. División para estudio de análisis de sensibilidad

Para estimar un impacto importante en el cambio de uso de suelo, antes y posterior a un fenómeno meteorológico, se tomó como base el número N a partir de los valores ponderados de una división en cuatro partes de la cuenca del río Colipa (Figura 3), obtenido un N base de 55, de esta manera se hará una variación de cinco unidades hasta llegar a un número N 80 y así comparar la variación del gasto máximo que tendría con respecto al original.

### 3. RESULTADOS

Tabla 4. Resultado de la aplicación de los tres modelos de lluvia escurrimiento para un N de 55 y su variación con el N original

N=55				
Gasto Máximo (m3/seg)				Variación
Tr años	Racional	HUT	VTC	
5	135.92	123.56	99.7	-66%
100	550.52	500.48	403.82	-48%

Tabla 5. Resultado de la aplicación de los tres modelos de lluvia escurrimiento para un N de 60 y su variación con el N original

N=60				
Gasto Máximo (m3/seg)				Variación
Tr años	Racional	HUT	VTC	
5	203.76	185.23	149.46	-49%
100	691.82	628.93	507.46	-33%

Tabla 6. Resultado de la aplicación de los tres modelos de lluvia escurrimiento para un N de 65 y su variación con el N original

N=65				
Gasto Máximo (m3/seg)				Variación
Tr años	Racional	HUT	VTC	
5	283.27	257.52	207.78	-29%
100	841.43	764.93	617.2	-19%

Tabla 7. Resultado de la aplicación de los tres modelos de lluvia escurrimiento para un N de 70 y su variación con el N original

N=70				
Gasto Máximo (m3/seg)				Variación
Tr años	Racional	HUT	VTC	
5	374.68	340.62	274.83	-6%
100	998.69	907.9	732.55	-4%

Tabla 8. Resultado de la aplicación de los tres modelos de lluvia escurrimiento para un N de 75 y su variación con el N original

N=75				
Gasto Máximo (m3/seg)				Variación
Tr años	Racional	HUT	VTC	
5	478.59	435.08	351.05	20%
100	1163.16	1057.42	853.2	12%

Tabla 9. Resultado de la aplicación de los tres modelos de lluvia escurrimiento para un N de 80 y su variación con el N original

N=80				
Gasto Máximo (m3/seg)				Variación
Tr años	Racional	HUT	VTC	
5	595.96	541.78	437.14	49%
100	1334.59	1213.27	978.94	28%

El aumento del gasto máximo se hace notorio a partir del valor N 75 con un 20% y un 10% en comparación con el original, lo anterior se debe a que se podría presentar un deterioro del suelo por los cambio de uso forestal al pecuario y al agrícola, provocando



erosión y una mayor escorrentía, que si bien en temporadas normales no puede tener impactos negativos, se puede ver afectado por la intensificación por fenómenos naturales extremos, generando un alto riesgo de inundaciones en la parte baja de la cuenca, este porcentaje está tan sólo a 3.75% del número N calculado.

Es importante resaltar que si no existe una adecuada cultura de la gestión de riesgo ante desastres naturales así como de conservación del ecosistema, el impacto que pueda ocasionar la presencia de otro fenómeno de intensidad igual o mayor al de Karl, podrá generar daños en el uso de suelo de la cuenca, como se puede observar en los resultados de la variación del N 80, con una significancia del 49%, no sólo causaría daños en el ambiente, si no a la población en general, de manera física, social y económica y que, después de estos daños se vería altamente vulnerable ante otro evento (Lynn *et al.*, 2011).

La inclusión de los tres métodos es importante para una toma de decisión con respecto a los trabajos de seguimiento, ya que dependerá de quien realice estudios de prevención y corrección al tomar el valor que considere apegado a la realidad del municipio, en este caso, el valor del método racional es mayor, posiblemente la cantidad de datos que sugiere, sin embargo, es importante considerar el aspecto de la percepción entre los pobladores.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de los fenómenos meteorológicos ha generado una estimación del impacto de estos, logrando que existan sistemas de alerta temprana, sistemas de prevención social y físicos así como propuestas de sistemas de corrección, sin embargo, las actividades económicas como la ganadería y la agricultura siguen en aumento, generando importantes cambios de uso de suelo, así como incremento de la mancha urbana en diferentes poblaciones, ocasionando que el impacto negativo de los fenómenos sea mayor, y más allá del impacto ambiental, la sociedad se ve en un alto riesgo.

Para el caso particular de la cuenca del río Colipa, hubo una restauración en el paisaje, sin embargo, debido a los problemas de erosión y deforestación, si se llegara a presentar un fenómeno extremo, las probabilidades del impacto pueden ser mayores, como se muestra en el aumento de los N en este análisis.

Por lo cual se recomienda, que los análisis de investigación ante este tipo de amenazas tenga una relación directa con las políticas públicas para la conservación y reducción de este tipo de impactos de fenómenos naturales en cuencas.

#### 5. LITERATURA CITADA

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Climate change 2014, Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectorial Aspects. WMO/UNEP. Estados Unidos.



- Sánchez, Roberto y Cavazos, Tereza. 2015. Amenazas naturales, sociedad y desastres, en Conviviendo con la naturaleza. México. INECOL.
- Acevedo, F. y Llanos, J. 2014. Deslizamiento de laderas desencadenados por los meteoros del 2013, “Eventos meteorológicos más significativos en 2013”, en La gestión del riesgo por deslizamientos de laderas en el Estado de Veracruz durante el 2013. México: Gobierno del Estado de Veracruz. Pp. 25-27.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2012. México en cifras 2010. Consultado el 5 de mayo del 2016. [www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/](http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/)
- Programa de Medidas Preventivas y Mitigación de la Sequía, Consejo de Cuenca de los ríos Tuxpan al Jamapa. México. 2012. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (pp. 57-64). Veracruz.
- Aparicio, F. 1989. Fundamentos de hidrología de superficie. Grupo Noriega Editores. (Pp. 243-249). México.
- Lyyn, K., MacKendrick, K. y Donoghue, Ellen. 2011. Social vulnerability and climate change: Synthesis of literatura. Department of Agriculture of UU. SS. (15-22) Estados Unidos



Extenso ID: 262. Bartolo Cruz Romero, Fernanda Julia Gaspar, Fátima Maciel Carrillo González, Jorge Téllez López. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL Y ZONIFICACIÓN DE RIESGO DE EROSIÓN POR ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO CUALE, JALISCO, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

1. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. E-Mail: bartolo.cruz@unicach.mx
2. Centro Universitario de la Costa. Universidad de Guadalajara. **email:** fmaciellux@gmail.com, j\_tellezlopez@yahoo.com.mx
3. Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas.
4. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales email: fgaspari@agro.unlp.edu.ar

## RESUMEN

Se establece una zonificación de riesgo en la cuenca del río Cuale debido a la erosión por escorrentías en Jalisco. Es un trabajo que presenta los resultados que llevaron a la zonificación utilizando el método del número de curva (NC) implementado por el SCS (Servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos) y el modelo GeoQ. Durante este proceso se estableció una clasificación de los complejos hidrológicos a los que se asignó una capacidad de infiltración. El análisis de registros para eventos de tormenta y escurrimiento indican que antes de que exista escurrimiento, primero se deben satisfacer los volúmenes de interceptación, almacenamiento en depresiones e infiltración, denominados abstracción inicial. Análisis empíricos sugieren que el NC está en función de cuatro factores: Grupo y coberturas y uso de suelo, condición hidrológica (% de cobertura vegetal) y condiciones de humedad antecedente. Esta metodología permitió establecer los coeficientes de escorrentía con el uso de datos pluviométricos de 23 años, de 1980 a 2004 que muestran variaciones de valores máximos mensuales que varían desde los 27.5 mm en el mes de abril hasta los 243.5 mm en el mes de septiembre. Como resultado final se obtuvo el NC con una variación de entre 35 y 98, los datos de escorrentía superficial fueron de 35.62 a 218.36 mm; la integración de esta información dio como resultado el mapa de zonificación de riesgo de erosión por escorrentía, en el que se representan zonas con valores de escorrentía fuerte y muy fuerte debidos a la topografía accidentada del terreno.

**Palabras clave:** número de curva, escorrentía, riesgo de erosión.

## 1. INTRODUCCIÓN

El escurrimiento superficial se define como la cantidad de agua de una tormenta que drena o escurre sobre la superficie del suelo y cuando se produce fluye a los cauces incrementado su volumen. Ocasionando erosión hídrica que comprende la disgregación y transportación de las partículas del suelo por la acción del agua (Mintegui *et al.*, 1990; Gaspari *et al.*, 2007;





Michelena, 2011). Este fenómeno causa el empobrecimiento de la tierra con una consecuente pérdida económica. Debido a que el agua de lluvia que no alcanza a infiltrar escurre sobre la superficie causando problemas en el manejo de cuencas hidrográficas. De tal manera que la determinación del escurrimiento superficial así como la zonificación del riesgo de erosión por escorrentía puede ayudar a establecer diferentes prácticas de conservación de suelos que controlen el agua para evitar sus efectos negativos. Uno de los procedimientos más generalizado y fácil de adaptar a cualquier región para determinar estos procesos corresponde al cálculo del Número de Curva (NC) metodología empleada por el SCS (Servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos, 1972). El cual a través de un método empírico calcula la transformación de lluvia - escorrentía, que surge de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo y diferentes condiciones de humedad antecedente (Bustamante, 1984). A su vez establece una clasificación de los complejos hidrológicos a los que asigna una capacidad de infiltración (López Cadenas de Llano, 1988, Mintegui, 1990, Chow, 1994). Este análisis sugiere que el NC está en función de factores como las coberturas de suelo, condición hidrológica y condiciones de humedad antecedente (Aparicio, 2005). Dada la representatividad de estos factores, y considerada a una cuenca hidrográfica como un sistema donde los procesos geomorfológicos, edáficos y culturales se hallan ligados; y que además se genera riesgo por los peligros hidrometeorológicos, como la erosión, remociones en masa, inundaciones y crecidas torrenciales (González *et al.*, 2008); este estudio genera información útil en la planeación de los recursos naturales a través de la determinación del escurrimiento superficial utilizando el número de curva (NC) y el modelo GeoQ; así como el mapa de zonificación de riesgo por escorrentía de la cuenca del río Cuale.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología implementada corresponde a la que utiliza el SCS para el análisis hidrológico de cuencas. Dicho Servicio desarrolló un método empírico para el cálculo de la transformación de lluvia - escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo y para distintas condiciones de humedad antecedente (Bustamante, 1984). Posteriormente, establece una clasificación de los grupos hidrológicos a los que asigna una capacidad de infiltración (Mintegui, 1990; Chow, 1994; López Cadenas de Llano, 1998). El análisis de registros para eventos de tormenta y escurrimiento indican que antes de que exista escurrimiento, primero se deben satisfacer los volúmenes de intercepción, almacenamiento en depresiones, e infiltración, denominados abstracción inicial. Esta metodología permitió establecer los coeficientes de escorrentía con el uso de datos pluviométricos de 23 años de 1980 a 2004 (no se contempló el año 1985 debido a que no hay registro de datos). Al mismo tiempo la determinación del NC y la escorrentía superficial se efectuó con el uso del Software SIG *Idrisi Taiga*® (Clark Labs, 2009) y *Arc Gis* 9.3. (ESRI, 2008)® y el Modelo GeoQ propuesto por Rodríguez y Gaspari (2010). El cual se define como una herramienta útil para el cálculo del NC y la escorrentía a nivel espacial; ya que se utilizan datos de uso de suelo y vegetación que generalmente son de fácil disponibilidad. Este modelo permite determinar, cuantificar y zonificar la escorrentía a lo largo del período considerado, según las condiciones de humedad antecedente para una lámina de tormenta precipitada sobre una cuenca (Rodríguez y Gaspari, 2010). El mapa de pendientes, se elaboró de acuerdo con la información del relieve de la cuenca y las curvas de nivel; y herramientas del software SIG *Arc Gis* 9.3; se zonificó el área de estudio según los intervalos de clases de pendiente de acuerdo a la clasificación propuesta por Mintegui Aguirre (1988) y a partir del modelo de elevación digital (DEM) de esta manera se obtuvo de forma porcentual y a diferentes condiciones de altura la representación de las pendientes en el



área de estudio. El mapa de los tipos de suelo se realizó interpretando la información de la carta edafológica y geológica del INEGI escala 1:250,000 del mapa edafológico de México (INEGI, 2003) y el mapa de los tipos de suelos del área propuesta como reserva de la Biósfera El Cuale (Téllez *et al.*, 2011). Para la definición de los Grupos Hidrológicos de Suelos (GH) se utilizaron las clases texturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la clasificación de datos edafológicos de INEGI (1998, 2001). De acuerdo con el *Soil Conservation Service* (1972); existen cuatro grupos hidrológicos de suelo basados en el potencial de escurrimiento (A, B, C y D) y se describen de la siguiente manera:

Grupo A): Incluye suelos muy permeables, que presentan escurrimientos mínimos. Son suelos profundos, arenosos, sueltos, con predominio de arena y grava, con muy poca arcilla o limo.

Grupo B): En este grupo se ubican los suelos arenosos menos profundos y menos permeables que los del grupo A, pero en conjunto con moderada permeabilidad cuando están saturados.

Grupo C): Se incluyen los suelos poco profundos que presentan baja permeabilidad al estar saturados. Contienen abundante arcilla y coloides.

Grupo D): Suelos con el máximo escurrimiento superficial, muy impermeables. Son suelos arcillosos profundos con una capa de arcilla cercana a la superficie.

El uso de suelo estuvo definido por las cartas temáticas de uso de suelo y edafología del INEGI escala 1:250,000. Coordenadas Geográficas. Huso:(UTC-6). Proyección: WGS\_1984\_UTM\_Zone\_13N correspondientes a las cartas F13C69 Puerto Vallarta y F13C79 El Tuito. Para elaborar el mapa de riesgo de erosión por escorrentía se realizó un cruzamiento de la información del NC en condición (II) media de humedad y del mapa de pendientes. Este proceso se llevó a cabo con el comando *Cross Tab* del *Software SIG Idrisi Taiga®* y se utilizó el algoritmo de clasificación denominado *Hard classification*. La información utilizada correspondió a los valores del Cuadro 1; en donde el NC corresponde a la situación media de humedad antecedente del suelo (condición II) adaptada para la cuenca del río Cuale.

Cuadro 1. Valores de número de curva, rangos y tipos de pendiente utilizados para la elaboración del mapa de riesgo de erosión por escorrentía en la cuenca del río Cuale.



Muy bajo

Bajo

Medio

Alto

Muy alto

NC	Muy plano	Plano	Suave	Lomadas	Accidentado	Fuerte	Muy fuerte	Escarpado	Muy escarpado
	0-0.5	0.5-1	1-3	3-12	12-20	20-35	35-50	50-75	75-100
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	1		14	21	32	42	54	66	77
36	2			22	33	43	55	67	78
47	3	11	15	23	34	44	56	68	79
57	4	12	16	24	35	45	57	69	80
60	5		17	25	36	46	58	70	81
62	6			26	37	47	59	71	82
70	7			27	38	48	60	72	83
72	8	13	18	28	39	49	61	73	84
77						50	62		
81	9		19	29	40	51	63	74	85
85				30		52	64	75	86
92	10		20	31	41	53	65	76	87



### 3. RESULTADOS

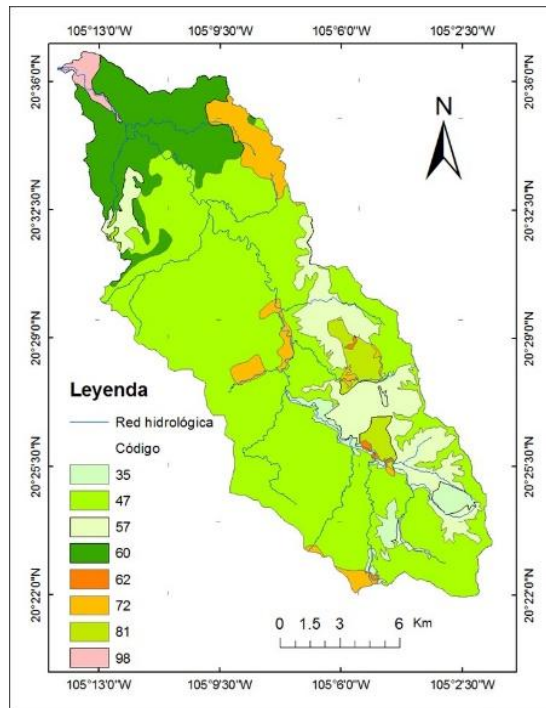
#### Grupos hidrológicos de suelo y NC

Con base en las características granulométricas y de permeabilidad de cada uno de los tipos de suelo registrados, se tuvo como resultado el Cuadro 2 en el que se muestra la condición media de humedad y el NC.

Cuadro 2. Grupos hidrológicos de suelo y NC usados para las coberturas, grupo hidrológico y condición de humedad antecedente en la cuenca del río Cuale, Jalisco.

Coberturas	Uso seleccionado	Práctica	Grupo Hidrológico de Suelo	Condición	NC
ZA	Zonas agrícolas	Surcos rectos	A	Media	62
			B		72
			C		81
ZU	Zonas urbanas		A	—	98
			B		98
			C		98
BTS	Bosque tropical subcaducifolio		A	Media	36
			B		60
			C		70
BTCL	Bosque templado de coníferas y latifoliadas		A	Media	35
			B		47
			C		57

ZA = Zonas agrícolas, ZU = Zonas urbanas, BTS = Bosque tropical subcaducifolio, BTCL = Bosque templado de coníferas y latifoliadas.



#### Definición de los NC para las coberturas

La definición de los números de curva registrados en el Cuadro 2 muestran el valor relativo de las coberturas como productores directos de escurrimiento; y estuvieron en función de una condición media de humedad. La precipitación permitió obtener un grupo de valores que fueron estandarizados con base a definir un número adimensional de curva NC (Figura 1). Que indica que cuanto mayor es el número, mayor es el volumen de escurrimiento directo que puede esperarse de una lluvia. Y tuvo como margen de variación de 35 hasta 98; según correspondió al grado del escurrimiento directo.

Figura 1. Mapa del número de curva NC.

#### Análisis de datos pluviométricos

El estudio de los datos pluviométricos de la estación meteorológica “El Cuale” se relacionó con el registro histórico diario de las tormentas en la región; para un periodo comprendido de 1980 a 2004. Este análisis permitió determinar un valor máximo de 243.5 mm de precipitación en el mes de septiembre y mínimo de 27.5 mm en marzo, distribuidos en una media de 19 días con lluvia y la precipitación media mensual de 454.54 mm. Estos valores fueron utilizados para determinar la escorrentía superficial con la aplicación del modelo GeoQ.

#### Aplicación del modelo GeoQ para determinar el escurrimiento superficial

La determinación de los valores de escorrentía superficial para la cuenca del río Cuale dio como resultado el mapa representado en la Figura 2. Para este proceso se utilizó la información de los mapas de cobertura, grupos hidrológicos, valores del NC y valores máximos de lluvia del periodo 1980 – 2004. El resultado ha sido la distribución espacial de la lámina de escorrentía según el método del número de curva.



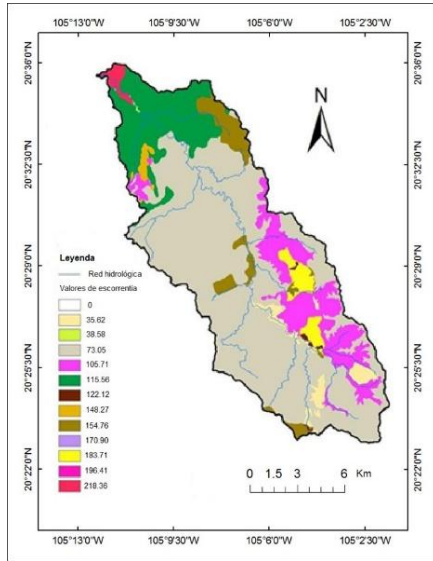


Figura 2. Valores de la distribución espacial laminar de la escorrentía (mm).

#### Mapa de pendientes de la cuenca del río Cuale

Se obtuvo el mapa de pendientes que representa el relieve de la cuenca (Figura 3) y se describe la inclinación de la superficie constituida por los valores de pendiente Z, respecto a la horizontal correspondientes a los valores XY. La finalidad de este mapa es evidenciar mediante colores las zonas del territorio con diferentes pendientes relativas al tipo de relieve en el área de estudio.

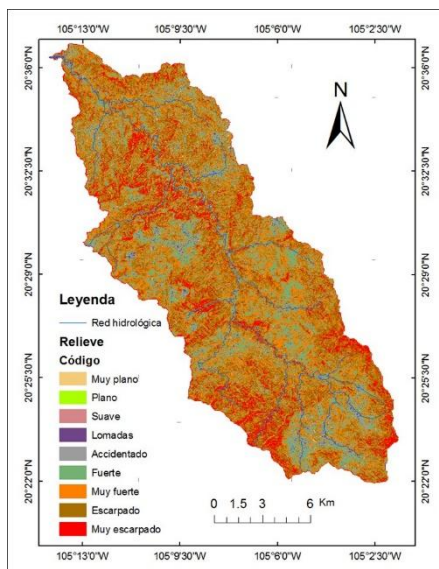


Figura 3. Mapa de pendientes respecto al relieve en la cuenca del río Cuale.

Mapa de riesgo de erosión por escorrentía de la cuenca del río Cuale

El mapa de la Figura 4 corresponde al resultado de la peligrosidad de la cuenca, ante el riesgo de erosión por escorrentía. En el cual se muestran geográficamente las áreas que pueden resultar más peligrosas, de acuerdo al relieve del terreno y en situaciones de crecida; y a partir de la información derivada de la escorrentía superficial, topográfica, hidráulica y pluviométrica.

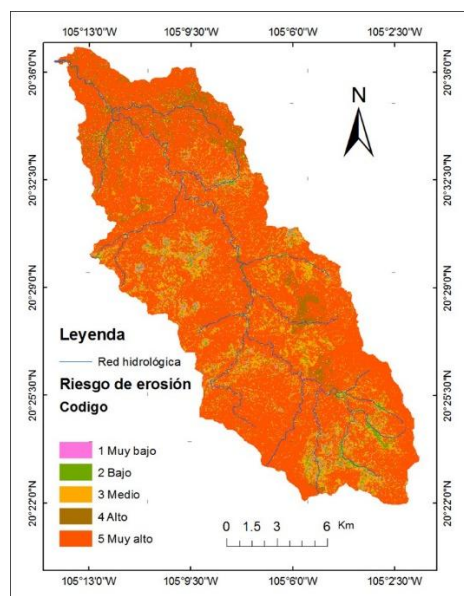


Figura 4. Mapa de zonificación de riesgo de erosión por escorrentía.

#### 4. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Los grupos hidrológicos de suelos para la cuenca del río Cuale, correspondieron en su mayoría a suelos arenosos menos profundos y con moderada permeabilidad. De acuerdo con Camarasa *et al.*, (2006) la determinación de estos grupos se basa en el análisis de información litológica, geomorfológica y edafológica. Y han sido adaptados a las categorías que propone Témez (1978) para el posterior cálculo de la escorrentía superficial. En el grupo hidrológico A se integraron suelos con una alta intensidad de infiltración, el grupo hidrológico B estuvo constituido de suelos con infiltración moderada y el grupo hidrológico C lo formaron suelos con infiltración lenta. Lo cual coincide con los resultados obtenidos por Hawkins *et al.*, (2000) en una revisión sobre el NC, que indica que existe una cierta variabilidad entre clases de suelo, sobre todo los que componen los grupos B y C. Esta asignación sirvió de referencia para la determinación del número de curva, que registró valores entre 47 y 81 para el bosque templado de coníferas y latifoliadas ocupando la mayor superficie de la cuenca; el bosque tropical subcaducifolio presentó valores de entre 57 a 60. Estos valores coinciden con los NC registrados para 15



cuencas ubicadas en la Región hidrológica No. 10 (Sinaloa) y Región Hidrológica No. 12 (Río Santiago) Campos (2010). Este autor menciona que con el cálculo del NC se puede estimar de forma sistemática y regional la escorrentía superficial. Las zonas agrícolas registraron valores de 62 a 72 y a las zonas urbanas les correspondió un valor de 98. Lo anterior se traduce en que un número de curva NC = 98 indica que gran parte de la lluvia escurre y de acuerdo con López *et al.*, (2012) este valor corresponde a situaciones críticas de escorrentía debido a la variabilidad natural de las precipitaciones. Especialmente por la baja permeabilidad de los suelos que ahí se presentan y las características de cobertura relacionadas con las zonas urbanas que incluyen áreas de construcción y desprovistas de vegetación. De igual manera un NC menor a 35 indica que gran parte de la lluvia se infiltra y este valor se registró en el bosque templado de coníferas y latifoliadas ubicado en la parte alta de la cuenca. Estos resultados coinciden con las relaciones existentes entre los grupos hidrológicos, escorrentía, coberturas y las precipitaciones (Hjelmfelt *et al.*, 2001). Cabe mencionar que en la cuenca predominan los suelos de textura fina con poca capacidad de infiltración, por lo que se supone que el volumen de escurrimiento se debe más a las variaciones en la precipitación (de 152 mm en época de secas hasta los 10,454.5 mm en época de lluvias) que a los cambios de coberturas. Sin embargo, existe una relación consistente entre la deforestación y el aumento de la escorrentía (Bosch y Hewlett, 1982; Stadtmüller, 1994). De tal forma que si se considera a la cuenca del río Cuale como una región forestal con 21,642.03 ha de vegetación natural; debe esperarse una mejor regulación del flujo de agua. Situación que coincide con los resultados representados en la Figura 2 en los cuales se observa que las zonas urbanas desprovistas de vegetación, presentan el valor más elevado de escorrentía superficial con 218.36 mm y las coberturas vegetales incluyendo a las zonas agrícolas, presentan valores de 35.62 a 196.41 mm. La figura 3 representa las pendientes del terreno en la cuenca y su incidencia en los procesos de erosión por escorrentía. En pendientes pronunciadas (muy escarpadas) este proceso hidrológico aumenta ocasionando mayor erosión del terreno (Morgan, 2005) condición presente en el 72 % de la superficie de la cuenca. En la cual está latente la peligrosidad de deslaves o inundaciones debido al riesgo de erosión por escorrentía considerado como muy alto para esta área. Esta condición incrementa con el tipo de relieve topográfico (López, 2002) y con los cambios de coberturas naturales a zonas agrícolas y urbanas; con valores de escorrentía en esta área de 154.76 a 218.36 mm respectivamente. Situación que pone de manifiesto que la degradación de coberturas boscosas en la parte media-alta y el suelo urbanizado en la parte baja, aunado a un relieve muy escarpado, así como a las variaciones de la precipitación, son de los elementos biofísicos de la cuenca del río Cuale que presentan mayores implicaciones desde el punto de vista de producción de escorrentía superficial.

#### LITERATURA CITADA

- Aparicio, M. (2005). *Fundamentos de Hidrología de Superficial*. México, D.F.: Limusa, pp. 1-325.
- Bosch, J.M., & Hewlett, J.D. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55, pp. 3-23.
- Bustamante, E. (1984). *Hidráulica de Superficie*. Bogotá: CIHRSA, pp. 1-259.
- Camarasa, A.M., López, M.J. & Pascual, J.A. (2006). *Análisis mediante SIG de los parámetros de producción de escorrentía*. En: *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*. Granada, España: Universidad de Granada, pp. 49-63.
- Campos, D.F. (2010). Identificación del número N con base en el método del HUT, en



- quince cuencas rurales de dos zonas geográficas de México. *Agrociencia*, 43, pp. 763-775.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. & Mays, L.W. (1994). *Hidrología aplicada*. Colombia: Mc Graw Hill, pp. 1-584.
  - Gaspari, F.J., Senisterra, G.E., & Marlats, R.M. (2007). Relación precipitación-escurrimiento y número de curva bajo diferentes condiciones de uso de suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. *Rev. FCA UNCuyo*, 1, pp. 21-28.
  - González, A., Acosta, J., & Andrade, S. (2008). *Evaluación de las Inundaciones de la Cuenca baja del Guayas, Datos y Manejo*. Febrero 13, 2013, de CLIRSEN Sitio web: <http://www.secsuelo.org/PDF%20todo%20simposio/PDF%20Plenaria/6.%20Ing.%20A%20agosto%20Gonzalez.pdf>
  - Hawkins, R.H., Ward, T. D., Woodward, E. & Van Mullem, J.A. (2009). *Curve Number Hydrology. State of the practice*. USA: ASCE, Reston, pp. 159.
  - Hjelmfelt, A.T., Woodward, D.A., Conaway, G., Quan, Q.D., Van Mullem, J. & Hawkins, R.H. (2001). *Curve numbers. Recent Developments*. Beijing, China: XXIX IAHR. Congress Proceedings, pp. 1-73.
  - López Cadenas de Llano, F. (1998). *Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería medioambiental*. España: TRAGSATEC. Min. Medio Ambiente. Ed. Mundi. Prensa, pp. 1-945.
  - López, I., Mundo, M., Lobato, R., Montero, M., Ramírez, A., & Patiño, C. (2012). *Simulación del proceso lluvia-escurrimiento ante cambios de cobertura vegetal y uso de suelo, considerando escenarios de cambio climático en la cuenca del río Huixtla, Chiapas*. Octubre 04, 2013, de XXII Congreso Nacional de Hidráulica, Acapulco, Guerrero, México  
Sitio web: [http://www.revistatlaloc.org.mx/amh\\_congreso/articulos/CambioClimaticoyEventosExtremos/349ART.pdf](http://www.revistatlaloc.org.mx/amh_congreso/articulos/CambioClimaticoyEventosExtremos/349ART.pdf)
  - Michelena, R. (2011). *Erosión Hídrica. Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Argentina: Universidad Nacional de La Rioja, pp. 1-178.
  - Mintegui, J.A. & López, F. (1990). *La Ordenación Agroecológica en la Planificación*. España: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, pp. 1-203.
  - Morgan, R.P.C. (2005). *Soil Erosion and Conservation*. USA: Blackwell Publishing, pp.1-304.
  - Rodríguez, A., & Gaspari, J.F. (2010). GeoQ: Herramienta para la determinación del número de curva y escurrimiento bajo entorno SIG. Idrisi Andes®. *GeoFocus (Informes y comentarios)*, 10, pp. 11-26.
  - Soil Conservation Service. (1972). *National Engineering Handbook. Hydrology*. Washington, D.C.: U.S. Dept. Agriculture. Government Printing Office, pp.1-188.
  - Stadtmüller, T. (1994). *Impacto hidrológico del manejo forestal de Bosques naturales tropicales medidas para mitigarlo*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, pp. 1-62.
  - Téllez, J. & Delgado, J. A. (2011). *Estudio previo justificativo para el establecimiento*



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

*del área natural protegida “Reserva de la Biosfera El Cuale”.* Puerto Vallarta, México: Desarrollo comunitario y conservación de la naturaleza, A.C. Centro Universitario de la Costa. Universidad de Guadalajara, p.p. 1-243.

- Témez, J. R. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. España: MOPU Dirección General de Carreteras. pp. 1-113.





Extenso ID: 28. Marcos Antonio López Hernández, Itzel Castro Mendoza, Elieen Salinas Cruz.  
DETERMINACIÓN DEL RIESGO A DESLIZAMIENTO DE LADERAS EN LA  
SUBCUENCA TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

[Regresar al índice](#)

- <sup>1a</sup> Técnico profesionalista del Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP, ,  
[marcos130992@gmail.com](mailto:marcos130992@gmail.com)  
<sup>2b</sup> Investigadora del Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP,  
[castro.itzel@inifap.gob.mx](mailto:castro.itzel@inifap.gob.mx)  
<sup>3c</sup> Investigadora del Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP,  
[salinas.elieen@inifap.gob.mx](mailto:salinas.elieen@inifap.gob.mx)

## RESUMEN

Los deslizamientos de ladera son considerados uno de los procesos geomorfológicos que se han intensificado como consecuencia del cambio climático y que afectan severamente a la población.

El sureste mexicano constantemente es afectado por deslizamientos generados principalmente por precipitaciones extremas.

La subcuenca Tuxtla Gutiérrez, ubicada en el estado de Chiapas, ha sufrido considerables pérdidas ambientales, económicas y sociales en la última década a causa de dichos movimientos del terreno. El presente estudio se plantea ante la expansión de la mancha urbana, como principal causante del cambio de uso de suelo en la subcuenca hacia zonas donde los habitantes desconocen su nivel de exposición a los deslizamientos.

Se siguió la metodología establecida por el CENAPRED (2006) y modificada por López-Báez *et al.*, (2012), la cual se aplica para determinar el riesgo a deslizamiento de laderas con enfoque de cuenca. El riesgo es la combinación de elementos biofísico a los que se consideran factores de peligro que inciden sobre una población con características socioeconómicas, las cuales determinan su grado de vulnerabilidad.

Se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) para el cálculo del peligro (precipitación, litología, pendiente del terreno, densidad hidrográfica e intensidad sísmica), vulnerabilidad socioeconómica (exposición al peligro, ocurrencia de eventos, capacidad de respuesta y el ingreso económico mensual) y riesgo.

Los resultados arrojaron que las zonas de riesgo medio a muy alto, se localizan al norte, poniente, centro y sur de la subcuenca, los cuales abarcan un 69.57% (30,408.77 has) de la superficie total, concentrando el 93.53% de las localidades y el 11.09% (67,286 habs) de la población total.



**Palabras clave:** Deslizamientos, peligro, vulnerabilidad, riesgo, Tuxtla Gutiérrez.

## 1 INTRODUCCIÓN

En la última década, la ocurrencia de deslizamientos de laderas en México se ha ido intensificando en sus efectos y ocurrencia, tal como lo constatan los deslizamientos ocurridos en Motozintla, Chiapas (1998 y 2005), Sierra Norte de Puebla (1999 y 2007) y el más reciente ocurrido en la comunidad Juan de Grijalva, municipio de Ostucán, Chiapas, en el año 2007 (López-Hernández & Castro-Mendoza, 2016). Este fenómeno es el proceso geológico que más ha afectado a la superficie terrestre, causando pérdidas humanas, daños en los bienes materiales y obras civiles (Schuster, 1996; Sidle & Ochiai, 2006).

La topografía accidentada de nuestro país, el aumento en la intensidad de fenómenos hidrometeorológicos y las alteraciones ambientales antrópicas son factores que incrementan la ocurrencia de deslizamientos de ladera principalmente en el sureste mexicano. Convencionalmente se realizan estudios para determinar el riesgo al deslizamiento a nivel estatal o municipal, siendo que dichas delimitaciones políticas no consideran las relaciones ambientales de las partes altas con respecto a las bajas en una ladera. En cambio, al considerar la cuenca como la unidad de análisis se incluye el efecto de la parte alta sobre la media y baja de un territorio y con ello se puede visualizar una estrategia de mitigación y manejo a mediano y largo plazo (López-Hernández & Castro-Mendoza, 2016; López-Báez, 2012). Por lo anterior, el presente estudio considera un enfoque de cuencas para calcular el peligro, vulnerabilidad y riesgo de la subcuenca Tuxtla Gutiérrez.

El estado de Chiapas cuenta con los mayores índices de marginación y pobreza a nivel nacional, y por lo tanto su población vive en condiciones de alta vulnerabilidad social y económica; además existe un gran porcentaje de la población que desconoce las causas del deterioro ambiental y aunque padecen sus consecuencias, consideran que cambiar sus estilos de vida comprometerían su ingreso económico. Lo anterior influye en su capacidad de respuesta para adaptarse a las diferentes afectaciones producidas por el cambio climático (López-Hernández & Castro-Mendoza, 2016).

Dentro de la subcuenca se ubica la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, la cual ha presentado una serie de deslizamientos, principalmente en la zona sur, como consecuencia del cambio y uso del suelo (de forestal a urbano) que se suma a precipitaciones extremas. En los años 2004 y 2005, las colonias Lomas de Oriente y Cueva del Jaguar, sufrieron un deslizamiento con dirección sur-norte, el cual ocasiono que gran parte de las viviendas se colapsaran, fracturaran e inhabilitaran estructuralmente, afectando también a la infraestructura hidráulica-sanitaria. Diferentes estudios (Muciño *et al.*, 2005; Membrillo, 2006; Mora, 2007; Gobierno de Chiapas, 2011; Espíritu, 2012) señalan que este fenómeno se sigue presentando, como lo constatan los deslizamientos ocurridos en Lomas del Oriente durante el año 2011.

El no contar con información actualizada acerca de las zonas de riesgo es uno de los problemas al que se enfrentan autoridades y habitantes que se establecen en lugares de alto riesgo. La ausencia de una eficiente toma de decisiones por parte de las autoridades competentes en el tema de deslizamientos, ocasiona afectaciones sociales, ambientales y económicas. En situaciones de emergencia, los grupos más vulnerables (pobres, ancianos, mujeres y niños) ante estos acontecimientos son los que más sufren de hambre y privaciones (FAO, 2010).

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Como se puede observar en la Figura 1, la subcuenca Tuxtla Gutiérrez, con una superficie de 43,711.11 ha (437.11 km<sup>2</sup>), se encuentra ubicada dentro de la Región Hidrológica no. 30 denominada Grijalva – Usumacinta, en la cuenca administrativa Grijalva – Tuxtla Gutiérrez (POET, 2007).

Sus coordenadas geográficas son: Latitud Norte 16°52'02'', Latitud Sur 16°43'29'', Longitud Oeste 93°20'13'' y Longitud Este 93°04'07''. Abarca de manera parcial los municipios de Berriozábal, Ocozocoautla de Espinosa, San Fernando y Tuxtla Gutiérrez (Tabla 1).

El rango altitudinal en la subcuenca va de 438 a 1,350 msnm (Figura 2). La parte baja de la subcuenca se localiza principalmente en la porción central de Tuxtla Gutiérrez, mientras que la parte media y alta se distribuye en Berriozábal, Ocozocoautla de Espinosa y en la zona sur-norte de Tuxtla Gutiérrez.

Fuente: INEGI, 2010 y 2011.

Figura 12. Ubicación de la zona de estudio.

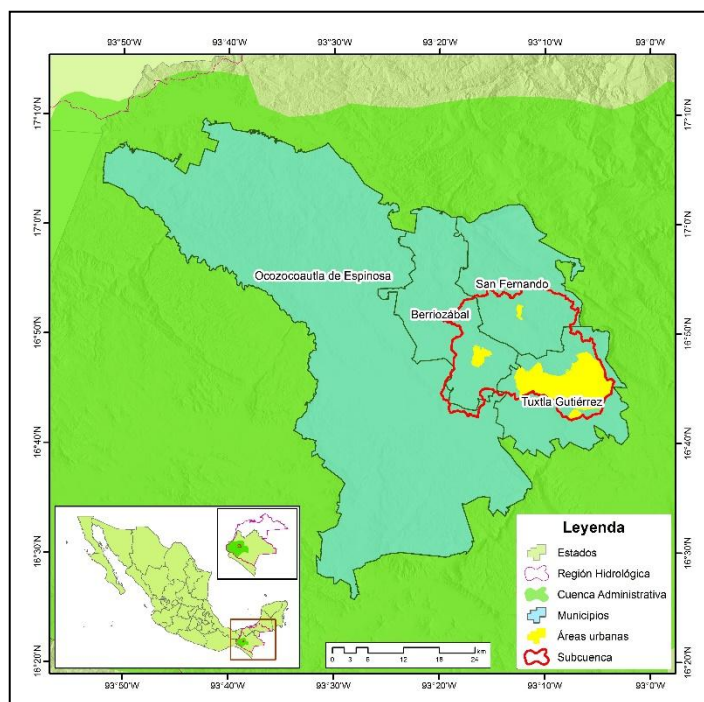
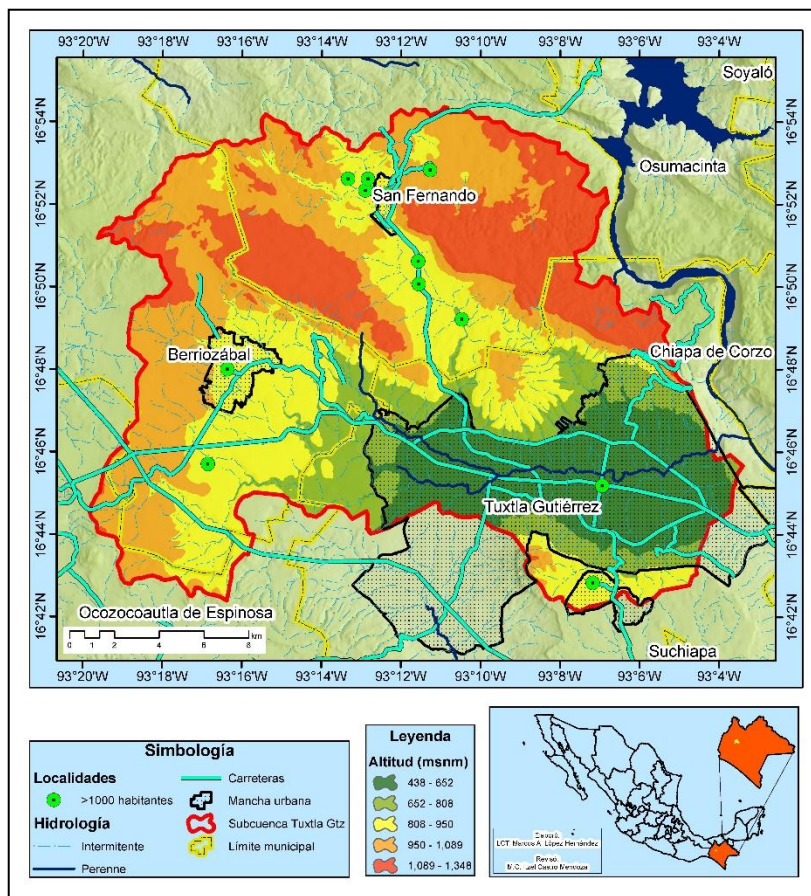


Tabla 7. Breve descripción de la subcuenca Tuxtla Gutiérrez.

Subcuenca hidrográfica	Clave	Área (Ha)	Área (%)	Municipios
Tuxtla Gutiérrez	RH30ej	16,139.9	36.9	Tuxtla Gutiérrez
		14,213.4	32.5	San Fernando
		12,501.6	28.6	Berriozábal
		1,006.5	2.3	Ocozocoautla de Espinosa

Fuente: POET, 2007.



Fuente: INEGI, 2010, 2011 y 2013.

Figura 13. Altitudes del área de interés.



Para el año 2000 se reportó una población total de 468,647 habitantes en la subcuenca, de los cuales el 90.06% (424,579 hab) se concentraba en Tuxtla Gutiérrez (INEGI, 2000). En el año 2005, la población ascendió a 593,594 habitantes, igualmente concentrándose la mayor población en Tuxtla Gutiérrez (INEGI, 2005). Para el año 2010, la población total era de 611,604 habitantes, distribuidas en 279 localidades (Tabla 2) y con la mayor concentración en Tuxtla Gutiérrez (INEGI, 2010).

Durante los años 2000 y 2010 la población económicamente activa era del 37.82% (229,851 hab). De acuerdo al INEGI (2005 & 2010), en Tuxtla Gutiérrez prevaleció el sector terciario, seguidos del secundario y primario; en San Fernando y Ocozocoautla de Espinosa predominó el sector primario, seguidos del terciario y el secundario; finalmente en Berriozábal sobresalió el sector terciario, seguido del secundario y el primario.

### Metodología

Se siguió la metodología establecida por el CENAPRED (2006) y modificada por López-Báez *et al.*, (2012). Se utilizaron dos variables: Peligro y Vulnerabilidad socioeconómica, cada una integrada por diversos factores. Aplicando la siguiente ecuación se calcula el riesgo:

$$R = P * V$$

Donde:

R= Riesgo (adimensional).

P= Peligro (adimensional).

V= Vulnerabilidad (adimensional).

Tabla 8. Población en la subcuenca Tuxtla Gutiérrez.

Municipio	Localidades	Población	
		Total	(%)
Tuxtla Gutiérrez	25	546,856	90.08
Berriozábal	182	34,187	5.63
San Fernando	60	25,954	4.27
Ocozocoautla de Espinosa	12	67	0.02

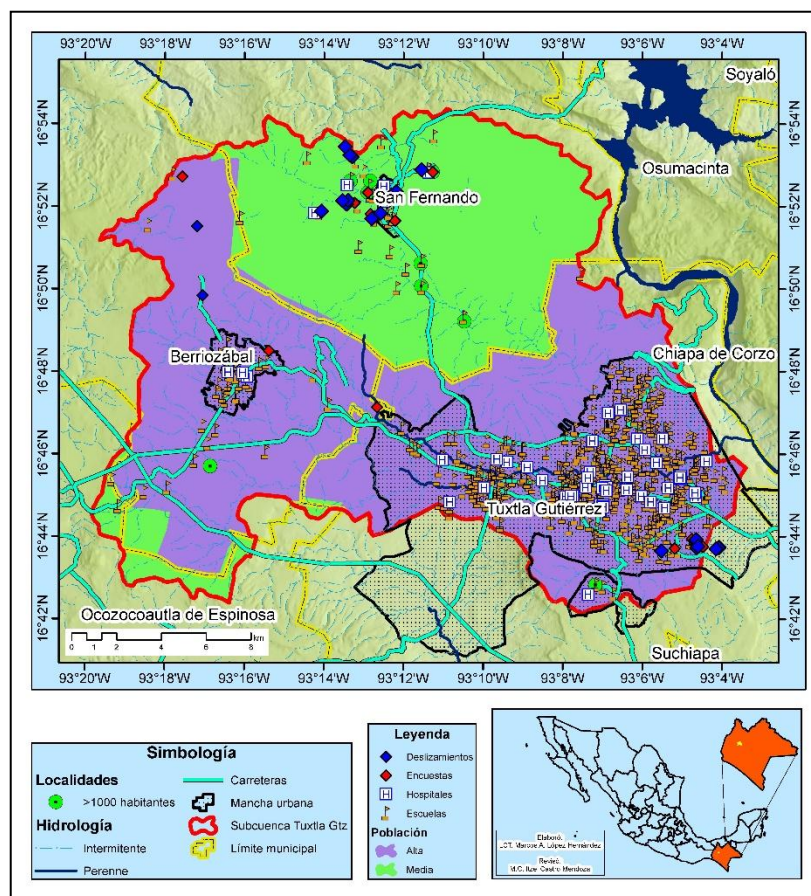
Fuente: INEGI, 2010.

Todas las variables son representadas geográficamente a través de polígonos a los que se les asigna un valor. Este valor se determina según el grado de relevancia para la ocurrencia de



un deslizamiento, es decir, si en la cuenca el tipo de roca es la variable que más influye en los deslizamientos, entonces este tendrá el valor más alto. Así mismo la variable se subdivide en categorías y cada una tendrá un valor, el cual también será ponderado.

El análisis del riesgo para el presente estudio fue realizado con base en tres procedimientos: a) revisión bibliográfica de artículos científicos, tesis, libros, documentos técnicos, notas periodísticas y páginas web, además de recorridos en campo y la recolección de los respectivos datos mediante un sistema de posicionamiento global (GPS); b) taller realizado con personas expertas que conocen el área de estudio (académicos, investigadores y funcionarios públicos), en donde se aplicó la evaluación multicriterio. Con la opinión de cada uno de ellos se determinaron las variables ambientales, sociales y económicas óptimas a utilizar para determinar el riesgo a deslizamiento de laderas en la subcuenca Tuxtla Gutiérrez; c) aplicación de 332 encuestas distribuidas en 13 localidades de la subcuenca donde anteriormente se habían registrado eventos de deslizamiento y que además se ubicaran en pendientes mayores a los 8° (Figura 3), lo anterior para conocer la vulnerabilidad socioeconómica de la población. Las encuestas abarcaron el aspecto educativo, económico, vivienda, ocurrencia de fenómenos naturales y afectaciones por la presencia de las mismas.



Fuente: INEGI, 2010 y 2011; SEP, 2010; SSA, 2014.

Figura 14. Deslizamientos identificados y localidades encuestadas.

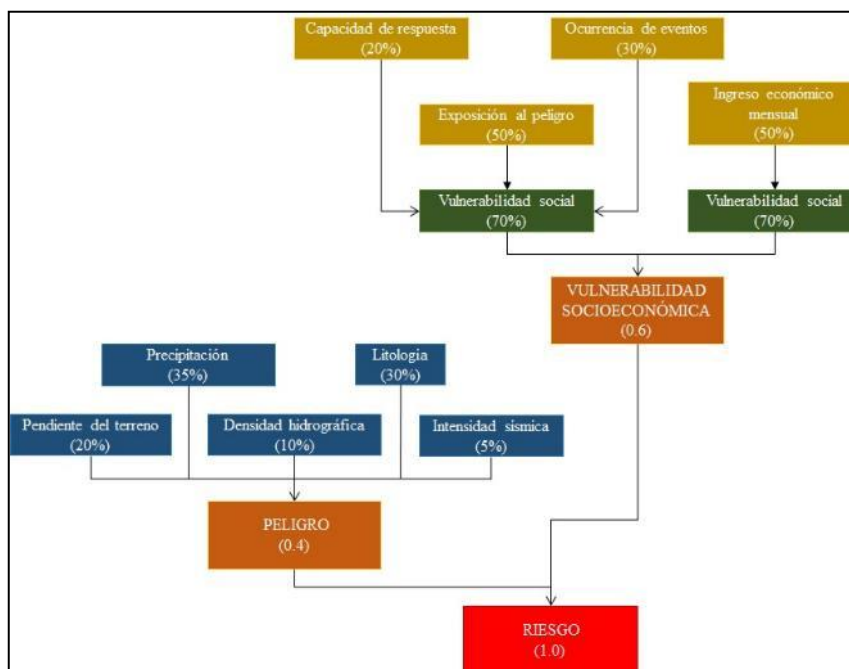


Figura 15. Diagrama metodológico para generar el mapa de riesgo a deslizamientos de laderas.

Para la aplicación del análisis multicriterio, como se mencionó en el párrafo anterior, se realizó un taller con personas expertas que conocen el área de estudio. Con base a la revisión bibliográfica y recorridos en campo, se detalló un listado de probables factores ambientales y socioeconómicos a tomar en cuenta para determinar el riesgo. El objetivo de esta actividad era aportar nuevos factores o en su caso eliminar los que se tenían en la lista de propuestas. Finalmente se determinaron cinco factores para el cálculo del peligro: litología, precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años, pendiente del terreno, densidad hidrográfica e intensidad sísmica; tres variables para el cálculo de la vulnerabilidad social: exposición al peligro por la influencia de rocas y fallas geológicas, ocurrencia de eventos y capacidad de respuesta; una variable para calcular la vulnerabilidad económica: ingreso económico mensual (Figura 4). A cada capa se le asignó su ponderación correspondiente y a cada uno de sus atributos se le asignó un valor de importancia (Figura 5).

### Factores ambientales

1. **Precipitación:** El impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie provoca el rompimiento de las partículas del suelo y a la vez satura el mismo, el cual los hace más propensos a sufrir deslizamientos.
2. **Litología:** Esta variable es de suma importancia, por la presencia de rocas del Cenozoico Terciario y Mesozoico Cretácico (nivel de consolidación del terreno).
3. **Pendiente del terreno:** Existe una relación proporcional: a mayor pendiente, mayor probabilidad de deslizamiento.



<table><tr><th>Precipitación máxima en 24 horas (mm)</th><th>Valor</th><th>Ponderación</th></tr><tr><td>125-134</td><td>0.6</td><td rowspan="4">35%</td></tr><tr><td>135-146</td><td>0.7</td></tr><tr><td>147-157</td><td>0.8</td></tr><tr><td>158-170</td><td>0.9</td></tr></table>	Precipitación máxima en 24 horas (mm)	Valor	Ponderación	125-134	0.6	35%	135-146	0.7	147-157	0.8	158-170	0.9	<table><tr><th>Roca</th><th>Era</th><th>Periodo</th><th>Valor</th><th>Ponderación</th></tr><tr><td>Caliza</td><td>Mesozoico</td><td>Cretácico</td><td>0.2</td><td rowspan="7">30%</td></tr><tr><td>Caliza-Lutita</td><td>Mesozoico</td><td>Cretácico</td><td>0.3</td></tr><tr><td>Caliza</td><td>Cenozoico</td><td>Terciario</td><td>0.5</td></tr><tr><td>Arenisca-Conglomerado</td><td>Cenozoico</td><td>Terciario</td><td>0.5</td></tr><tr><td>Limolita-Arenisca</td><td>Cenozoico</td><td>Terciario</td><td>0.7</td></tr><tr><td>Lutita-Arenisca</td><td>Cenozoico</td><td>Terciario</td><td>0.8</td></tr><tr><td>Ahuvial</td><td>Reciente</td><td>Reciente</td><td>0.1</td></tr></table>	Roca	Era	Periodo	Valor	Ponderación	Caliza	Mesozoico	Cretácico	0.2	30%	Caliza-Lutita	Mesozoico	Cretácico	0.3	Caliza	Cenozoico	Terciario	0.5	Arenisca-Conglomerado	Cenozoico	Terciario	0.5	Limolita-Arenisca	Cenozoico	Terciario	0.7	Lutita-Arenisca	Cenozoico	Terciario	0.8	Ahuvial	Reciente	Reciente	0.1	<table><tr><th>Pendientes (°)</th><th>Valor</th><th>Ponderación</th></tr><tr><td>0-8</td><td>0.1</td><td rowspan="4">20%</td></tr><tr><td>8°-17°</td><td>0.8</td></tr><tr><td>17-28</td><td>0.9</td></tr><tr><td>28-57</td><td>0.2</td></tr></table>	Pendientes (°)	Valor	Ponderación	0-8	0.1	20%	8°-17°	0.8	17-28	0.9	28-57	0.2	<table><tr><th>Densidad hidrográfica (Corrientes/km2)</th><th>Valor</th><th>Ponderación</th></tr><tr><td>0-1</td><td>0.1</td><td rowspan="4">10%</td></tr><tr><td>1-4°</td><td>0.8</td></tr><tr><td>4°-8°</td><td>0.4</td></tr><tr><td>8°-13</td><td>0.2</td></tr></table>	Densidad hidrográfica (Corrientes/km2)	Valor	Ponderación	0-1	0.1	10%	1-4°	0.8	4°-8°	0.4	8°-13	0.2	<table><tr><th>Intensidad sísmica</th><th>Valor</th><th>Ponderación</th></tr><tr><td>III</td><td>0.4</td><td rowspan="2">5%</td></tr><tr><td>IV</td><td>0.6</td></tr></table>	Intensidad sísmica	Valor	Ponderación	III	0.4	5%	IV	0.6
Precipitación máxima en 24 horas (mm)	Valor	Ponderación																																																																																
125-134	0.6	35%																																																																																
135-146	0.7																																																																																	
147-157	0.8																																																																																	
158-170	0.9																																																																																	
Roca	Era	Periodo	Valor	Ponderación																																																																														
Caliza	Mesozoico	Cretácico	0.2	30%																																																																														
Caliza-Lutita	Mesozoico	Cretácico	0.3																																																																															
Caliza	Cenozoico	Terciario	0.5																																																																															
Arenisca-Conglomerado	Cenozoico	Terciario	0.5																																																																															
Limolita-Arenisca	Cenozoico	Terciario	0.7																																																																															
Lutita-Arenisca	Cenozoico	Terciario	0.8																																																																															
Ahuvial	Reciente	Reciente	0.1																																																																															
Pendientes (°)	Valor	Ponderación																																																																																
0-8	0.1	20%																																																																																
8°-17°	0.8																																																																																	
17-28	0.9																																																																																	
28-57	0.2																																																																																	
Densidad hidrográfica (Corrientes/km2)	Valor	Ponderación																																																																																
0-1	0.1	10%																																																																																
1-4°	0.8																																																																																	
4°-8°	0.4																																																																																	
8°-13	0.2																																																																																	
Intensidad sísmica	Valor	Ponderación																																																																																
III	0.4	5%																																																																																
IV	0.6																																																																																	
<table><tr><th>Roca</th><th>Era/Periodo</th><th>Habitantes</th><th>Valor</th><th>Ponderación</th></tr><tr><td rowspan="2">Limolita-Arenisca</td><td>Cenozoico/</td><td rowspan="2">0</td><td rowspan="2">0.4</td><td rowspan="11">50%</td></tr><tr><td>Terciario</td></tr><tr><td rowspan="2">Arenisca-Conglomerado</td><td>Cenozoico/</td><td rowspan="2">2,875</td><td colspan="2" rowspan="2">0.5</td></tr><tr><td>Terciario</td></tr><tr><td>Caliza</td><td>Mesozoico/Cretácico</td><td>3,273</td><td>0.3</td></tr><tr><td rowspan="2">Caliza</td><td>Cenozoico/</td><td rowspan="2">8,190</td><td colspan="2" rowspan="2">0.6</td></tr><tr><td>Terciario</td></tr><tr><td rowspan="2">Lutita-Arenisca</td><td>Cenozoico/</td><td rowspan="2">17,982</td><td colspan="2" rowspan="2">0.8</td></tr><tr><td>Terciario</td></tr><tr><td>Caliza-Lutita</td><td>Mesozoico/Cretácico</td><td>37,642</td><td>0.5</td></tr><tr><td>Ahuvial</td><td>Reciente</td><td>537,102</td><td>0.2</td></tr></table>	Roca	Era/Periodo	Habitantes	Valor	Ponderación	Limolita-Arenisca	Cenozoico/	0	0.4	50%	Terciario	Arenisca-Conglomerado	Cenozoico/	2,875	0.5		Terciario	Caliza	Mesozoico/Cretácico	3,273	0.3	Caliza	Cenozoico/	8,190	0.6		Terciario	Lutita-Arenisca	Cenozoico/	17,982	0.8		Terciario	Caliza-Lutita	Mesozoico/Cretácico	37,642	0.5	Ahuvial	Reciente	537,102	0.2	<table><tr><th>Distancia a la falla (m)</th><th>Población</th><th>Valor</th><th>Ponderación</th></tr><tr><td>500</td><td>1,670</td><td>0.9</td><td rowspan="5">50%</td></tr><tr><td>1000</td><td>4,217</td><td>0.7</td></tr><tr><td>1500</td><td>16,771</td><td>0.5</td></tr><tr><td>2000</td><td>20,023</td><td>0.3</td></tr><tr><td>&gt;2000</td><td>587,041</td><td>0.1</td></tr></table>	Distancia a la falla (m)	Población	Valor	Ponderación	500	1,670	0.9	50%	1000	4,217	0.7	1500	16,771	0.5	2000	20,023	0.3	>2000	587,041	0.1	<table><tr><th>Comité de Protección Civil</th><th>Valor</th><th>Ponderación</th></tr><tr><td>Si</td><td>0.5</td><td rowspan="2">20%</td></tr><tr><td>No</td><td>0.9</td></tr></table>	Comité de Protección Civil	Valor	Ponderación	Si	0.5	20%	No	0.9	<table><tr><th>Temporada</th><th>Valor</th><th>Ponderación</th></tr><tr><td>Todo el año</td><td>0.9</td><td rowspan="3">30%</td></tr><tr><td>Lluvias</td><td>0.7</td></tr><tr><td>Nunca</td><td>0.5</td></tr></table>	Temporada	Valor	Ponderación	Todo el año	0.9	30%	Lluvias	0.7	Nunca	0.5
Roca	Era/Periodo	Habitantes	Valor	Ponderación																																																																														
Limolita-Arenisca	Cenozoico/	0	0.4	50%																																																																														
	Terciario																																																																																	
Arenisca-Conglomerado	Cenozoico/	2,875	0.5																																																																															
	Terciario																																																																																	
Caliza	Mesozoico/Cretácico	3,273	0.3																																																																															
Caliza	Cenozoico/	8,190	0.6																																																																															
	Terciario																																																																																	
Lutita-Arenisca	Cenozoico/	17,982	0.8																																																																															
	Terciario																																																																																	
Caliza-Lutita	Mesozoico/Cretácico	37,642	0.5																																																																															
Ahuvial	Reciente	537,102	0.2																																																																															
Distancia a la falla (m)	Población	Valor	Ponderación																																																																															
500	1,670	0.9	50%																																																																															
1000	4,217	0.7																																																																																
1500	16,771	0.5																																																																																
2000	20,023	0.3																																																																																
>2000	587,041	0.1																																																																																
Comité de Protección Civil	Valor	Ponderación																																																																																
Si	0.5	20%																																																																																
No	0.9																																																																																	
Temporada	Valor	Ponderación																																																																																
Todo el año	0.9	30%																																																																																
Lluvias	0.7																																																																																	
Nunca	0.5																																																																																	
	<table><tr><th>Ingreso mensual</th><th>Valor</th><th>Ponderación</th></tr><tr><td>Menos de 4,000 MXN</td><td>0.9</td><td rowspan="3">30%</td></tr><tr><td>Entre 4,000 a 6700 MXN</td><td>0.7</td></tr><tr><td>Más de 6,700 MXN</td><td>0.5</td></tr></table>	Ingreso mensual	Valor	Ponderación	Menos de 4,000 MXN	0.9	30%	Entre 4,000 a 6700 MXN	0.7	Más de 6,700 MXN	0.5																																																																							
Ingreso mensual	Valor	Ponderación																																																																																
Menos de 4,000 MXN	0.9	30%																																																																																
Entre 4,000 a 6700 MXN	0.7																																																																																	
Más de 6,700 MXN	0.5																																																																																	

Figura 16. Valores de importancia y ponderación de los factores ambientales y variables socioeconómicas.



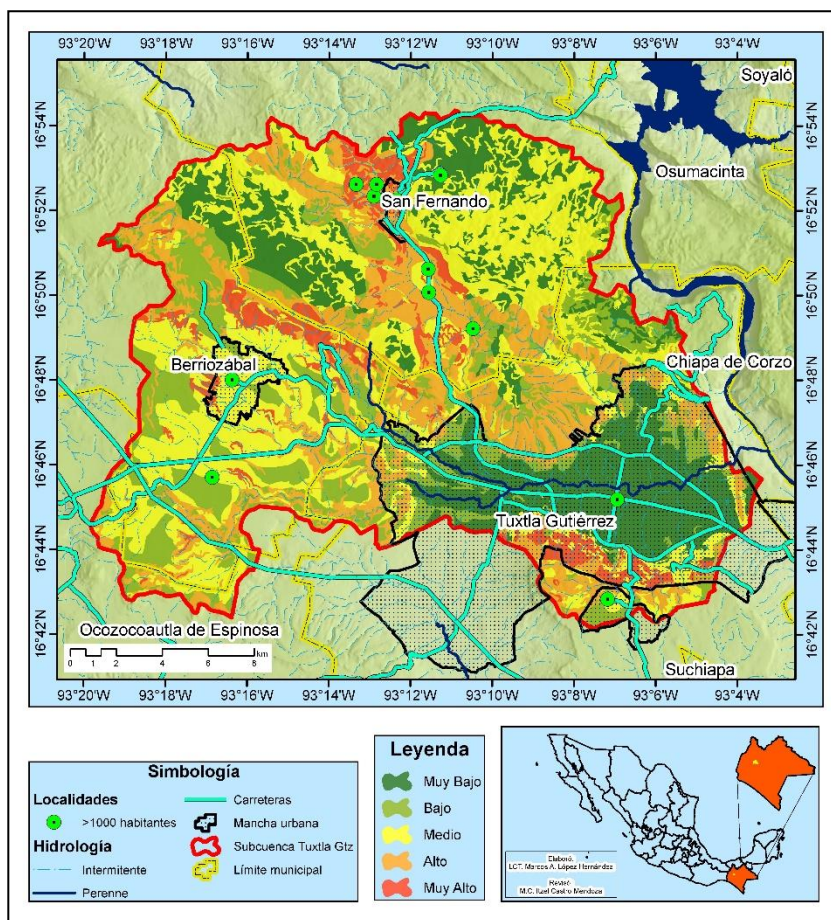


Figura 17. Mapa de peligro a deslizamientos de laderas en la subcuenca Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

### 3 RESULTADOS

#### Peligro

Con la combinación de los factores ambientales se generó el mapa de peligro a deslizamiento de laderas (figura 6), el cual muestra que aproximadamente más del 50% de la superficie total de la subcuenca presenta un peligro de medio a muy alto, concentrándose principalmente en Berriozábal y San fernando. En estos sitios se ubica el 75% de las localidades, aunque solo habita el 10% (61,160 hab) de la población.

Las áreas de muy bajo y bajo peligro presentan pendientes menores a 8°, altitud de 438 a 1,348 msnm, precipitación de 125 a 170 mm en 24 horas y en algunos lugares hay presencia de moderada humedad; sin embargo el factor que influyó en esta categoría es la presencia de roca caliza y caliza-lutita del mesozoico cretácico, las cuales se consideran zonas estables.

Las zonas de peligro medio, alto y muy alto tienen pendientes que van de 8 a 57°, altitud de 438 a 1,348 msnm, precipitación de 125 a 170 mm en 24 horas y poca

humedad en el suelo. En estas áreas se pueden encontrar diferentes tipos de rocas, tales como: calizas y caliza-lutita del mesozoico cretácico, calizas, limolita arenisca, lutita-arenisca y arenisca-conglomerado del cenozoico terciario, las cuales se consideraron como rocas con gran susceptibilidad a los deslizamientos, ya que no están suficientemente consolidadas. Lo anterior se confirmó a través de los recorridos de campo que se hicieron en la ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, en donde se han registrado los deslizamientos mas severos de la subcuenca.

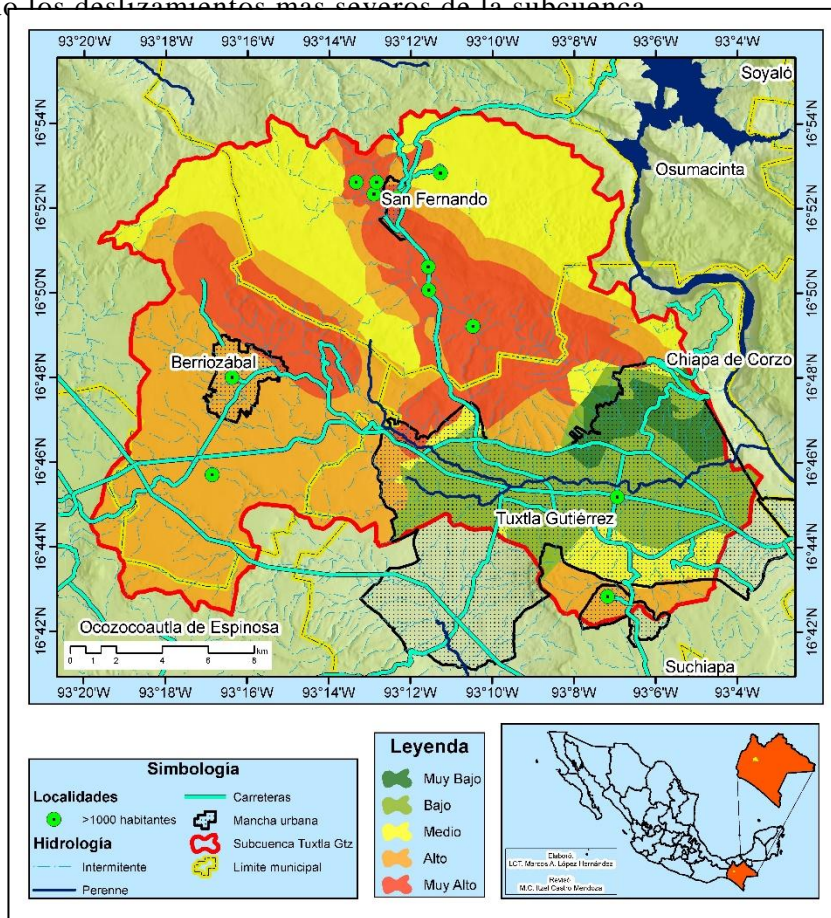


Figura 18. Mapa de vulnerabilidad socioeconómica a deslizamiento de laderas en la subcuenca Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.



### Vulnerabilidad socioeconómica

La combinación de variables sociales y económicas medidas a través de encuestas y recorridos en campo, permitieron generar el mapa de vulnerabilidad socioeconómica a deslizamientos de laderas (figura 7). Los lugares más proclives a ser afectados se localizan en Berriozábal y San Fernando, además de pequeñas porciones en la ladera sur y zona norte de Tuxtla Gutiérrez. Aproximadamente el 80% de la superficie de la subcuenca muestra una vulnerabilidad socioeconómica de media a muy alta.

el 11.23%

Las comités de 4,000 a más ya que pre desliza-

En la población habitantes desliza-

cuentan con ón va de los considerable, tible a sufrir

alta, poca palmente los n generado hos comités.

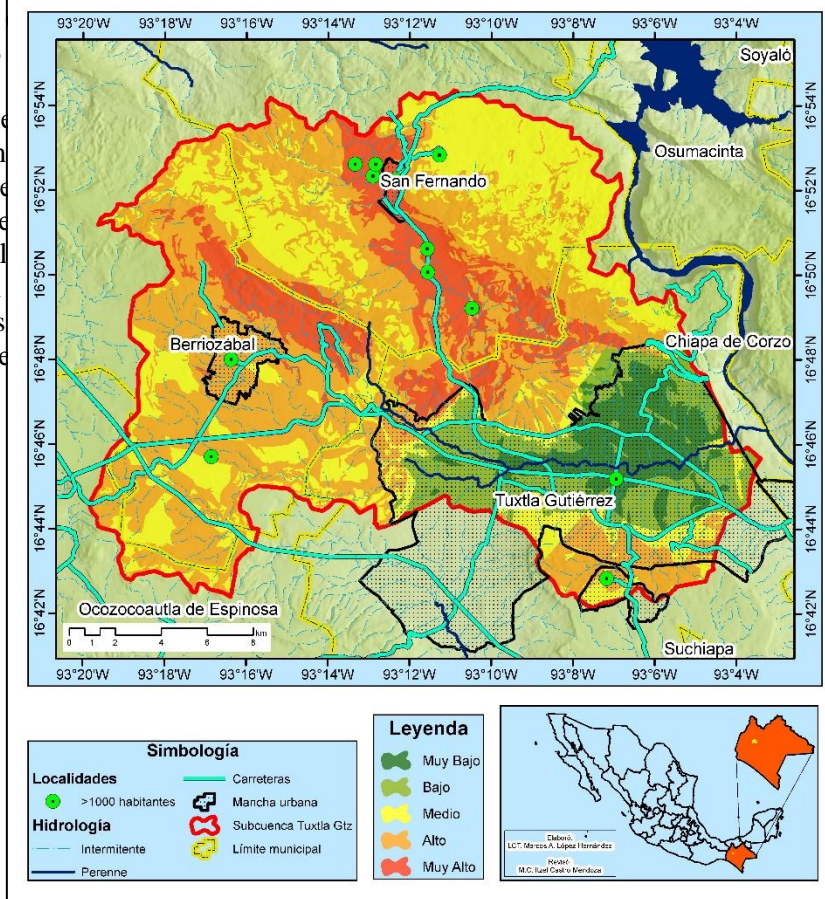




Figura 19. Mapa de riesgo a deslizamiento de laderas en la subcuenca Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

### Riesgo

Con la combinación del mapa de peligro (40%) y vulnerabilidad socioeconómica (60%), se generó el mapa de riesgo a deslizamiento de laderas para la subcuenca tuxtla gutiérrez (figura 8). El mapa indica que los sectores sujetos a ser afectados se sitúan en Berriozábal, San ernando y ciertas zonas de Tuxtla Gutiérrez. Estas zonas se encuentran en las categorías de medio, alto y muy alto riesgo, comprendiendo un 81.13% del área total de la subcuenca, el 95.71% (567) de las localidades pero solamente el 11.03% (68,760 hab) de la población.

Las áreas de muy bajo y bajo riesgo se distribuyen heterogéneamente dentro de la subcuenca. se caracterizan por pendientes menores a 8°, rocas consolidadas, poca precipitación, nula exposición al peligro por la influencia de fallas geológicas, presencia de comités de protección civil y poca ocurrencia de deslizamientos en estos sitios.

Respecto a los sitios de riesgo medio, alto y muy alto, se dispersan de manera homogénea, es decir abarcan superficies de los diferentes municipios que integran a la subcuenca. Estas zonas se caracterizan por una precipitación intensa que va de los 145 a 170 mm en 24 horas, el grado de pendiente que predomina es de 8° a 57°, y los distintos tipos de roca presentes son principalmente no consolidadas, es decir, del cenozoico cretácico; además existen escasos comités de protección civil que no son suficientes para informar a la población cuando se presenta este tipo de eventos, la exposición al peligro es muy elevada para la población por su cercanía a las fallas geológicas (500-1500 m), la ocurrencia de eventos se da en temporada de lluvias, principalmente en la ladera sur de tuxtla gutiérrez y para localidades de berriozábal y san fernando se presentan afectaciones todo el año. En tanto el ingreso económico que

se percibe va de menos de 4,000 a 6,700 MXN, a lo que el nivel de afectaciones o pérdida total de infraestructura es muy probable que ocurra en estos lugares.

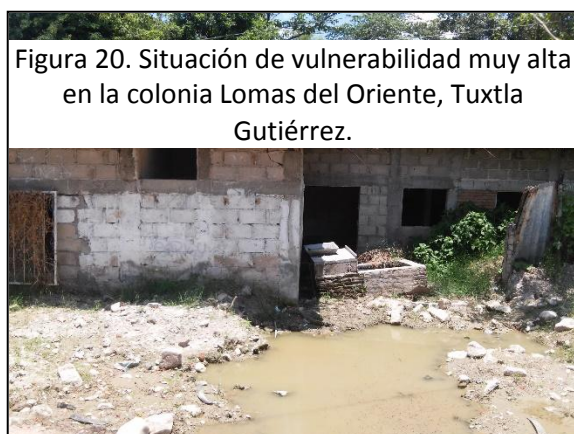


Figura 20. Situación de vulnerabilidad muy alta en la colonia Lomas del Oriente, Tuxtla Gutiérrez.

#### 4. DISCUSIÓN Y

El resultado reflejo de las económicas que los habitantes de la

El vivir en la capital del estado chiapaneco hace suponer que se puede aspirar a un mejor ingreso económico, pero, en las encuestas se detectó que aquellas zonas donde se han presentado deslizamientos (Lomas de Oriente y Cueva del Jaguar), el ingreso económico es menor que en localidades de Berriozábal y San Fernando, consideradas zonas rurales.

La aglomeración de las viviendas y la carencia de algunos servicios (salud, agua potable, drenaje, etc) también se adjudican como un problema en las zonas vulnerables de Tuxtla Gutiérrez.

La mayor superficie de la subcuenca está ocupada por los niveles de medio a muy alto peligro, vulnerabilidad socioeconómica y riesgo, pero en ellas se concentran aproximadamente el 11% de la población (62,277 hab).

El resultado arrojado en el mapa de riesgo a deslizamientos y las correspondientes áreas de cada categoría, validaron la hipótesis planteada en esta investigación, la cual mencionaba que las características ambientales y socioeconómicas que se presentan actualmente en la subcuenca, serían indicadores para asegurar que la mayor superficie estaría altamente expuesta al riesgo a

#### CONCLUSIONES

de las encuestas es un condiciones sociales y presentan actualmente subcuenca (Figura 9).



deslizamientos. Por lo tanto, esta metodología se puede aplicar en otros trabajos donde la zona de estudio presente condiciones similares a la subcuenca Tuxtla Gutiérrez.

También es preciso mencionar que la edafología, la vegetación, el escurrimiento superficial y las unidades geomorfológicas son factores ambientales de suma importancia para determinar el peligro a deslizamientos, pero la metodología utilizada implicó no hacer uso de estas variables. En futuras investigaciones para la zona de estudio, se recomienda actualizar y profundizar en diversos aspectos ambientales, sociales y económicos, a manera de reforzar los resultados expuestos en este trabajo.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Para el logro de esta investigación los autores desean expresar su agradecimiento:

Al Programa de Investigación en Cambio Climático (PINCC), Fondo de Conservación El Triunfo (FONCET) y al Fondo Semilla de Agua (FSA) por el apoyo económico otorgado para la realización de este proyecto de investigación.

A académicos de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) por las observaciones realizadas y así nutrir con sus conocimientos a la presente investigación.

A instituciones Federales y Estatales y Organizaciones No Gubernamentales (CFE, SEMARNAT, CONAGUA, SEMAHN, Protección Civil del Estado de Chiapas, Tierra Verde Naturaleza y Cultura A.C. y al Grupo Espeleológico Jaguar A.C.), que participaron en el taller para la elección de factores ambientales y variables socioeconómicas a utilizar en la determinación del riesgo.

## 6. LITERATURA CITADA

- CENAPRED (2006), *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*, Secretaría de Gobernación, México.
- Lopez, H. Marcos A. (2016), *Grado de riesgo a deslizamiento de laderas en la subcuenca Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*, tesis de Licenciatura, Centro de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, UNICACH, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- López-Báez, W; R. Magdaleno-González; I. Castro-Mendoza (2012), *Riesgo a deslizamiento de laderas en la Reserva de la Biósfera El Triunfo*, Libro Técnico No. 7, Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México.
- Schuster, R.L. (1996), Socioeconomic significance of landslides. In: A.K. Turner & R.L. Schuster (Eds.) *Landslides Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, National Research Council*, Special Report 247, National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Sidle, R. & Ochiai, H. (2006), *Landslides: Proceses, prediction and land use*. Water Resources Monograph 18, American Geophysical Union, Washington, DC.
- Espíritu Tlatenpa, G. (2012), *Movimientos de masas y sus implicaciones en el ordenamiento urbano*, En: El Sudcaliforniano; Ciencia, Innovación y Tecnología para el desarrollo de México, Año 4 No. 102, La Paz, BCS, México.



- Gobierno de Chiapas (2011), *Dictamen de identificación de riesgos (Colonia Lomas del Oriente)*, Instituto de Protección Civil para el manejo Integral de Riesgo de Desastres, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Membrillo Ortega, H. (2006), *Geología de la Meseta de Copoya*, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México,
- Mora Chaparro, J.C., Carrera, M., García Diego, A.M., Escobedo, S., Figueroa, H.N., Hernández, V.M. y Sol, L.L. (2007), *Reporte de observaciones geológicas en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez*, Instituto de Protección Civil para el Manejo Integral de Riesgos de Desastre, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- INEGI (2000), *Censo de Población y Vivienda 2000*, México.
- INEGI (2004), *Censo Económico 2004*, México.
- INEGI (2005), *II Conteo de Población y Vivienda 2005*, México.
- INEGI (2009), *Censo Económico 2009*, México.
- SEMAHN (2007), *Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Subcuenca del Río Sabinal* [<http://www.bitacora.semahn.chiapas.gob.mx/oet/Oet2>].





Extenso ID: 265. Anthony Philippe André Michel Bourbon, Juan Alfredo Hernández Guerrero. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR ESCURRIMIENTO HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA CAÑADA MENCHACA, QUERÉTARO.

[Regresar al índice](#)

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Querétaro, MGIC, email: anthony.michel@gmail.com

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Querétaro, MGIC, email: juan.hernandez@uaq.mx

## RESUMEN

El riesgo socio-natural en áreas urbanas se construye a partir de la inadecuada apropiación del espacio, ese fenómeno se observa de manera particular en periferias urbanas, las cuales, en su mayoría, no son aptas para uso habitacional. Así, la microcuenca Menchaca, ubicada en la periferia oriente de la ciudad de Querétaro y sobre la cañada Menchaca, forma una unidad de escurrimiento de baja aptitud habitacional. Sin embargo hace aproximadamente 30 y 15 años respectivamente se asentaron irregularmente las colonias Diana Laura I y II. Las características ambientales y socioeconómicas que caracterizan a esas colonias, inciden en la construcción del riesgo asociado con escurrimiento superficial, y se manifiesta a través de daños y pérdidas a los habitantes y a su patrimonio. Con el objetivo de evaluar el riesgo socio-natural por escurrimiento pluvial, se planteó la siguiente metodología: 1) Identificar los factores socio-naturales detonantes de la amenaza por escurrimiento pluvial; 2) analizar los factores de vulnerabilidad ante la amenaza; a partir de datos de percepción y conocimiento local. El resultado muestra la existencia de un riesgo por escurrimiento hídrico superficial potencializado por el arrastre de sedimentos de manera homogénea en las dos colonias, ese evento se asocia tanto por lluvias regulares como extraordinarias, en particular para los desplazamientos cotidianos de los habitantes. Se concluye que los habitantes demuestran una notoria fragilidad para mitigar el riesgo, sea por la escasa participación de las personas afectadas, el desconocimiento sobre el lugar y el poco apoyo de las autoridades.

**Palabras clave:** riesgo, resiliencia, periferia, Querétaro, escurrimiento

## 1 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial como latinoamericano, la construcción social del riesgo se reconoce como la principal responsable de los procesos de desastre (García, 2005, La Red, 1996). Según las sociedades, se producen y reproducen contextos frágiles (vulnerabilidad) que determinan la magnitud de los efectos ante la presencia de una amenaza natural.

Asimismo, desde aproximadamente dos décadas, el riesgo se considera como socio-natural (Lavell, 1996), es decir, se articula alrededor de una relación entre el sistema social y el sistema bio-físico. En este sentido, el riesgo es holístico (Cardona, 2004) y su estudio debe contar con un enfoque sistémico. La unidad territorial cuenca hidrográfica cumple con este



enfoque (Martínez, 2006), pues abarca y une los sistemas socio-naturales a través de un eje rector que es el agua, por lo que representa una unidad adecuada para el análisis del riesgo (Dourojeanni, Jouravlev, & Chávez, 2002).

A escala nacional, el sistema social evoluciona bajo un contexto neoliberal, mismo que amplifica las diferencias sociales y que, a través de la producción del espacio, contribuye a la construcción del riesgo particularmente en espacios urbanos (Calderón, 2011; Lavell, 1996). Al respecto, las ciudades presentan una importante demanda de espacios habitacionales, pero el acceso a esos espacios es limitado, esa situación conduce a presiones del mercado del suelo que obliga, a grupos de menores recursos económicos, ocupar sitios no aptos para uso habitacional, que además de sus condiciones estructurales (materiales de construcción frágiles, hacinamiento, carencia de servicios y tenencia del suelo, poca accesibilidad de infraestructura pública) también suelen estar expuestos a diferentes tipos de amenazas (sean de origen geológico, hidrometeorológico o tecnológico) que favorecen la construcción de escenarios de riesgo socio-natural; esos sitios suelen ubicarse en zonas periféricas con poca o nula planificación (Bazant, 2010).

En este contexto, las poblaciones al sufrir daños o pérdidas, también presentan alteraciones en su funcionamiento rutinario (Chardon, 1998). Esta situación se refleja en la periferia de la ciudad de Querétaro, donde el crecimiento industrial y poblacional, aunados a una especulación del mercado del suelo, han generado la continua extensión de la mancha urbana mediante la ocupación de espacios periféricos de predominancia habitacional formal e informal (García, 1986; Icazuriaga, 1994; González, 2012).

En este escenario, cabe cuestionarse sobre la incidencia que tienen los procesos urbanos en las microcuencas peri-urbanas en México y las poblaciones que las habitan, pues esos lugares, además de ser sitios idóneos para los asentamientos de bajos recursos económicos, suelen estar vinculados con algún tipo de amenaza (Bazant, 2010; Chardon, 1998). Entre las diferentes amenazas, las de origen hidrometeorológico destacan por su recurrencia, sea el caso de eventos de precipitación pluvial; agua procedente de la atmósfera que cae sobre la superficie terrestre, ya sea en forma líquida o sólida. Cuando la precipitación llega a la superficie terrestre, una parte se infiltra, otra escurre y otra se evapora, pero ese proceso depende de la ocupación y modificación de la superficie. Así, los sitios ocupados suelen presentar avenidas o escurrimientos superficiales, producto de los excesos de precipitación que no se infiltran y discurren por la red de drenaje, de ahí que el tener en cuenta la unidad de análisis llamada cuenca hidrográfica proporciona un mayor entendimiento, sea el caso de la dirección de los escurrimientos y la cantidad de agua, todo ello en proporción con su nivel y velocidad, ya que puede causar problemas en los medios y activos de los habitantes.

Con los argumentos antes señalados, un espacio periférico de la ciudad de Querétaro con problemas de escurrimiento superficial, es la unidad de escurrimiento cañada Menchaca (CAM), ubicada en la periferia oriente de la ciudad, específicamente sobre la microcuenca Menchaca (MIM). La unidad de escurrimiento cañada Menchaca la constituyen sus importantes pendientes (>30%), a la vez que los planes de desarrollo urbano la consideran como una área de preservación ecológica, sea el caso del Plan Parcial de Desarrollo de la Delegación Epigmenio González (2008) como el Plan de Ordenamiento Ecológico (2014) (Municipio de Querétaro, 2008; Municipio de Querétaro, 2014).



A pesar de la condición del terreno, algunas colonias se establecieron en la zona, mismas que carecen de la mayoría de servicios y equipamiento, además de la falta de tenencia del suelo. Entre las colonias con problemas de escurrimiento superficial en Cañada Menchaca sobresale Diana Laura (Figura 1), dividida entre Diana Laura A.C., o Diana Laura I (DL I), y Diana Laura II (DL II). Ambas colonias se establecieron en un terreno privado de la unidad de escurrimiento desde hace 15 y 30 respectivamente. Este asentamiento se encuentra de manera irregular en la tenencia del suelo y fue construido en una ladera con pendiente del 26.5% en promedio, a la vez que se ubica aguas abajo del flujo de escurrimiento hídrico de la colonia regular Menchaca III. El proceso de urbanización de la colonia ha requerido el remplazo o remuevo parcial de la cubierta vegetal original para instalar las viviendas (dejando aparecer taludes no contenidos o estabilizados) y formar calles (no pavimentadas), las cuales están trazadas en el sentido de la pendiente. Además, dada que la colonia se encuentra de manera informal, no suele ser considerados en los planes y proyectos de desarrollo urbano previstos por el gobierno municipal, lo cual tiene como consecuencia, el que no sean beneficiarios de infraestructura adecuada para resolver el problema que causan las precipitaciones, mismas que afectan la vida diaria de los habitantes de la colonia, su integridad física y su patrimonio, a consecuencia del escurrimiento hídrico superficial que puede atravesar la colonia.

En este contexto, la presente investigación plantea el objetivo de evaluar el riesgo por escurrimiento hídrico superficial en la subunidad de escurrimiento Diana Laura (SDL) donde se ubican las dos colonias. Específicamente, se busca evaluar de manera general los factores socio-naturales de los componentes del riesgo: 1) amenaza; 2) vulnerabilidad; y subcomponentes de la vulnerabilidad: a) fragilidad social; b) fragilidad física; c) resiliencia, así como su distribución en la colonia a nivel de vivienda. De manera específica se busca entender, para una posible intervención futura en la mitigación del riesgo, si existen un componente del riesgo y una zona predominantes en la conformación del riesgo por escurrimiento hídrico superficial en colonias DL I y II.

De acuerdo con Cardona (2004), se ha optado por un enfoque holístico, en el que se tiene que tomar en consideración la falta o existencia de resiliencia social como subcomponente de la vulnerabilidad. Asimismo, se ha escogido la cuenca hidrográfica como unidad territorial holística de análisis del riesgo planteado.

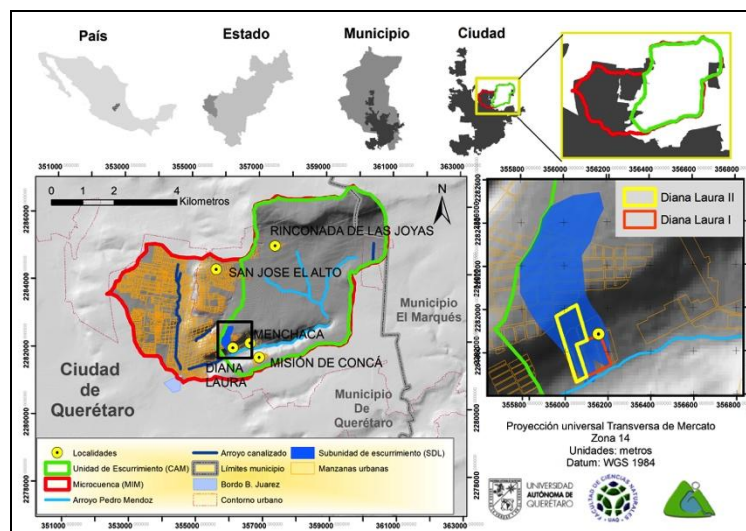


Figura 21. Localización general. Fuente: elaboración con base en el INEGI (2010)

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca Menchaca y dos subunidades sirvieron de matriz para cruzar dos series de factores: A) **los componentes del riesgo**: 1) amenaza; 2) vulnerabilidad, y subcomponentes: a) fragilidad social; b) fragilidad física; c) resiliencia; con B) **Una fuente de información**: la percepción local.

El proceso metodológico consistió en la realización de una encuesta y la integración de las respuestas en una hoja de cálculo Excel, seguida por un análisis de dos tipos: 1) **análisis descriptivo general** de las respuestas, para la obtención de datos generales sobre los componentes del riesgo por escurrimiento hídrico superficial en las colonias; 2) Un **análisis geo-referenciado de riesgo**, para la obtención de un mapa de zonificación del riesgo por escurrimiento hídrico superficial en las colonias DL I y II.

Las variables obtenidas de la encuesta se categorizaron por componente del riesgo (amenaza y vulnerabilidad) y subcomponente de la vulnerabilidad (fragilidad social, fragilidad física, resiliencia) y según el tipo de análisis.

### 2.1 Encuesta y base de datos

Se recopiló información de primera mano través de la aplicación de encuestas (con base a la metodología del CENAPRED para la evaluación de la vulnerabilidad social; SEGOB-CENAPRED, 2014) a partir de las cuales se construyó una base de datos. La metodología del CENAPRED sirvió de base:

- El grado de preparación del encargado de protección civil



- El cuestionario sobre percepción del riesgo fue de elaboración propia para adecuarlo al contexto de la zona de estudio
- El grado de riesgo obtenido se dividió en 6 rangos del 0 a 3 (contra 5 rangos del 0 a 1 para el CENAPRED).
- Se agregaron variables de la amenaza para, a manera de sinergia, obtener a la par datos sobre los factores socio-naturales, percepción e impacto de la amenaza por escurrimiento pluvial en las colonias DL I y II.

A través de la adaptación de la encuesta llevada a cabo por Hernández (2011), se estableció y aplicó en la colonia Diana Laura I y II un cuestionario de respuesta indirecta (la formulación de las preguntas la realiza un encuestador que es el que anota las respuestas) en cada hogar que acepte contestar dicha encuesta. El cuestionario se aplicó de forma dirigida (con cita previa) a un representante del hogar, para cada hogar de las colonias Diana Laura I y II. Un hogar puede ser constituido de varias viviendas. En caso de ser posible y necesario (condiciones muy diferentes entre cada vivienda), la encuesta se llevó a cabo para cada vivienda. No se requirió proceder a definir un tamaño de muestra de la población a encuestar, puesto que en un inicio se estimó un número de viviendas entre 50 y 70 en toda la colonia (DL I y II). Al final, fueron completadas 52 encuestas. La técnica en la aplicación de encuestas refiere a la forma personal “uno a uno” en base a recorridos aleatorios de selección de viviendas. La técnica “uno a uno” implica la interacción entre el encuestador y el encuestado a través de una lista estructurada de preguntas registradas en escrito por el encuestador. Este cuestionario se articuló alrededor de los cinco siguientes temas y a través de 55 preguntas cerradas de tipo dicotómicas, categorizadas, semi-cerradas y de valoración:

I- Localización

II- Información del encuestado

A) Identidad general

B) Composición familiar

C) Economía familiar

D) Salud y nutrición familiar

III- Vivienda y bienes principales

IV- Amenaza y susceptibilidad

V- Capacidades: respuesta y voluntad

Para el caso de esta investigación las respuestas fueron tomadas por escrito y en algunos casos se utilizó grabadora de voz. Se realizó una base piloto con 4 entrevistados habitantes de la colonia elegidos al azar. Las entrevistas realizadas en el marco del estudio piloto sirvieron para analizar la pertinencia y agilidad de la encuesta, con el fin de adaptarla antes del lanzamiento definitivo.

## ***2.2 Análisis descriptivo general del riesgo***

Este análisis consistió en describir las frecuencias de respuesta (porcentajes) para las 58 variables asociadas a cada componente del riesgo socio-natural. El tratamiento se realizó a través del paquete estadístico IBM SPSS Statistics 19. Para las frecuencias de variables con respuestas múltiples se codificaron las respuestas (variables nominales) con valores numéricos (variables ordinales), antes de definir los conjuntos de variables múltiples.





### ***2.3 Análisis geo-referenciado del riesgo (zonificación)***

De las preguntas llevadas a cabo en la encuesta fueron aprovechadas 60 variables. Para cada variable y cada una de las 52 encuestas, se procedió a calificar las respuestas en función de criterios de evaluación pre-establecidos por realización propia. La calificación atribuida manualmente consiste en un valor numérico de “0”, “1”, “2” o “3”, que corresponde respectivamente a un nivel nulo, bajo, medio o alto de riesgo.

En caso de respuestas múltiples se evaluaron la cantidad y calidad de las respuestas, mismas que fueron promediadas. En caso de no respuesta por el entrevistado a una pregunta evaluada mediante ésta ponderación de 0 a 3, se consideró si el entrevistado: 1) no quiso contestar (NC); 2) no aplicaba la pregunta al caso del entrevistado (NA).

En caso de no querer contestar (NC) se dejó la celda en blanco y no fue contabilizada en el promedio final, que contabilizó los valores de 0 a 3 para cada encuesta (es decir para cada vivienda) y arrojo un valor promedio para cada componente del riesgo: amenaza, fragilidad social, fragilidad física, resiliencia. En caso de que la pregunta no aplicará (NA), se dejó la celda en blanco y no se contabilizó en el promedio general, salvo en caso de que el NA significará algún nivel de riesgo. La base de datos obtenida consistió en valores enteros y decimales de riesgo entre 0 y 3 para cada vivienda y cada categoría componente del riesgo. Los valores se clasificaron con 6 rangos desde bajo a alto.

Por importación de la hoja de cálculo en ArcGis 10.1, se pudo asociar a cada polígono representando una vivienda entrevistada de la colonia Diana Laura I y II, el valor promedio correspondiente. Los polígonos de vivienda se trazaron a partir de la digitalización en ArcGis 10.1 de una imagen satelital de las colonias Diana Laura I y II, extraída desde el Google Earth, (versión 7.1.5.1557) y georeferenciada manualmente en Arcgis a partir de 4 puntos de referencia extremos en la imagen, y de sus coordenadas en UTM apuntadas a partir del Google Earth.

### 3 RESULTADOS

Cuatro tablas resumen las frecuencias obtenidas para cada componente del riesgo por riesgo hídrico superficial, y sus variables correspondientes, a nivel del conjunto de colonias. Cinco mapas temáticos resumen la distribución (o zonificación) del riesgo por escurrimiento hídrico superficial, para cada componente del riesgo a nivel de vivienda (Figura 2).



Figura 22. Zonificación del riesgo. Fuente: elaboración a partir de encuestas

### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La zonificación del riesgo permite responder a la inquietud inicial, puesto que se observa una predominancia de la amenaza y de la falta de resiliencia en la construcción del riesgo por escurrimiento hídrico superficial, mismo que se distribuye de manera homogénea en toda la colonia.

El nivel de riesgo observado se equilibra en el balance entre amenaza y resiliencia, por un lado, fragilidad física y social, por el otro.

Respecto a la amenaza, las frecuencias permiten observar que las lluvias y su escurrimiento representan una molestia y un peligro que impactan fuertemente los habitantes, según la percepción de estos. Pues, si bien las lluvias fuertes son las que más afectan las viviendas, en particular con la posibilidad de arrastre de sedimentos (de 30 cm en promedio y ubicados homogéneamente a lo largo de la ladera), cualquier lluvia afecta la vida diaria, en



particular los desplazamientos peatonales y motorizados intra-colonia, debido al lodo que se genera por la humidificación del suelo arcilloso no pavimentado, y al peligro asociado de resbalarse adversamente. En particular, cuando las lluvias ocurren de noche o mañana, por los desplazamientos obligatorios que requieren el trabajo y la escuela, además de la falta de alumbramiento público y de la necesidad de quitar el agua de lluvia que se infiltra ocasionalmente en ciertas viviendas. Los desplazamientos, que remiten al riesgo en los espacios públicos, se consideran, para cerca del 90% de la población entrevistada, entre difíciles e imposibles durante la lluvia y hasta que seque el suelo.

Para los habitantes urge resolver la situación, por lo cual se puede considerar que la amenaza rebasa la capacidad de respuesta de los habitantes. Al respecto, las respuestas de los habitantes demuestran que a pesar de vivir en las colonias por más de 10 años para la mayoría de las familias entrevistadas, ellos reconocen una falta de preparación de las viviendas y de las familias ante la amenaza por escurrimiento superficial del agua de lluvia.

Existe por parte de los habitantes, sin embargo, una voluntad de participar a la resolución de este problema, en conjunto con las autoridades gubernamentales. Mientras tanto, para lo cotidiano se adaptan y utilizan estrategias para desplazarse en condiciones de lluvia, por ejemplo organizándose para salir con anticipación o llevando doble zapato para no llegar con los zapatos sucios al trabajo o la escuela.

Existe tanto a nivel individual como colectivo una organización por parte de los habitantes para prevenir el impacto de las lluvias. A nivel individual (de vivienda), se suele encauzar el agua con zanjas, aprovechando la gravedad que ofrece la pendiente. No obstante, algunas familias mencionan no haber realizado las adecuaciones necesarias por falta de recursos, tiempo o conocimiento, mismo si se observa una alta capacidad técnica en la colonia para la auto-construcción. Además, el resultado es leve en general, pues se estima considerable para solamente la mitad de los habitantes que tomaron acciones preventivas.

A nivel colectivo, los habitantes se cooperan económicamente y reciben apoyo por parte de la delegación Epigmenio González (con camión de tepetate) para emparejar la calle con este material más firme y no lodoso como la arcilla, o por default: con escombros. También realizan algunas zanjas de evacuación del agua pluvial, y limpian la canaleta que encauza parte del escurrimiento que llega de Menchaca III. Sin embargo, el resultado se considera mayoritariamente leve, debido a que las lluvias vuelven a tapar canaleta (con escombros) y zanjas de evacuación (con tierra erosionada), y vuelven a llevar el tepetate, formando nuevamente zanjas en la calle, mismas que complican el acceso motorizado y peatonal a las viviendas y tiendas.

Lo anterior traduce la capacidad rebasada de los habitantes para ejecutar y financiar acciones preventivas en las vialidades a pesar de los apoyos puntuales e insuficientes por parte de la delegación. Traduce también divisiones entre los habitantes para organizarse y cooperarse



económicamente en la compra de materiales para rellenar las calles, mas esta variable no fue sistematizada a través de una pregunta.

Pues no se anticipó en un inicio. Se fue observando durante el proceso de investigación. Lo anterior, resalta la importancia de: 1) elaborar herramientas de investigación particularmente adaptadas al contexto local y flexibles, es decir que puedan evolucionar mismo la investigación empezada; 2) poder integrar datos de evaluación personal del investigador, tanto oral (discusiones informales con los habitantes) como visual. En este último caso por ejemplo, se puede observar visualmente una mejor organización por parte de los habitantes de la colonia Diana Laura I. Pues, se observa alumbrado público y rellenos regulares de tepetate (para emparejar las calles gracias a una mejor cooperación que en DL II), por ejemplo, o letreros que informan los potenciales compradores de terrenos sobre la necesidad de acudir a la asociación civil creada por los colonos de DL I, así como un esquema indicando la zona de Preservación Ecológica, que la asociación respeta.

Finalmente, si bien el método permite caracterizar con cierta precisión el riesgo, de modo que se puede determinar sobre qué componentes y subcomponentes intervenir, así ubicar (o no) zonas prioritarias de intervención, no permite destacar, dentro de cada componente y subcomponente del riesgo, las variables con mayor peso en la conformación del riesgo. Se recomienda, para aquello, complementar el método utilizado con un análisis estadístico comparativo, como el de componentes principales.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

Se agradecen todos los habitantes de las colonias Diana Laura I y II por su paciencia en responder una encuesta de aproximadamente 70 preguntas.

## **6. LITERATURA CITADA**

- Calderón Aragón, G. (2011). Lo ideológico de los términos en los desastres . *Revista Geográfica de América Central* (Número especial EGAL), 1-16.
- La Red. (1996). Ciudades en Riesgo. *Red de estudios sociales en prevención desastres en américa latina* , 140.
- Chardon, A.-C. (1998). Crecimiento urbano y riesgos "naturales": evaluación final de la vulnerabilidad global en Manizales, Andes de Colombia. (L. Red, Ed.) *Desastres y Sociedad* (9), 197.
- Cardona, O. D. (2004). The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. (G. F. G. BankoÆ, Ed.) *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People* , 37-51.
- Lavell, A. (1996). Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación . In M. A. (Compiladora), *Ciudades en Riesgo: Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y Desastres* (p. 140). Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres (La Red). .
- Bazant, J. S. (2010). Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Espacio Abierto Cuaderno Venezolano de Sociología* , 19 (3), 475-503.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Chávez, G. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. (CEPAL, Ed.) *Serie Recursos Naturales e Infraestructura* , 1.



- García Acosta, V. (2005). El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. *Desacatos* (19), 11-24.
- García Peralta, B. (1986). La lógica de las grandes acciones inmobiliarias en la ciudad de Querétaro. *Estudios Demográficos y Urbanos* , 3 (3), 375-397.
- González Gómez, C. I. (2012). Segregación urbana dirigida y segregación voluntaria: Querétaro, México. *XXX Simposio de la ICA*. Viena, Austria.
- Icazuriaga, M. (1994). Desarrollo urbano y forma de vida de la clase media en la ciudad de Querétaro. *Estudios Demográficos y Urbanos* , 2 (26), 439-456.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC. (23 de junio de 2013). *INECC*. Retrieved 18 de junio de 2015 from <http://www.inecc.gob.mx/ai-tratados-nairobi>
- Martínez Duarte, J. A. (2006). Enfoque sistémico en la investigación de cuencas hidrográficas. (U. N. Misiones, Ed.) *Visión de Futuro* , 5 (1).
- Municipio de Querétaro. (2015). *Plan de Desarrollo Municipal 2015-2018*. Ayuntamiento de Querétaro. Querétaro: Secretaría del Ayuntamiento de Querétaro.
- Municipio de Querétaro. (2008). Plan parcial de desarrollo para la delegación Epigmenio González. *Gaceta Municipal* , año II (33), 2-14.
- Municipio de Querétaro. (13 de Mayo de 2014). Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Querétaro . *Gaceta Municipal, Gaceta Oficial del Ayuntamiento del Municipio de Querétaro* , Año II (36-II), p. 115.
- Periódico oficial del Gobierno del Estado de Querétaro. (13 de enero de 2012). Ley de Protección Civil del Estado de Querétaro. *La Sombra de Arteaga* , p. 167.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA. (2008). *Perspectivas del medio urbano: GEO Zona Metropolitana Querétaro*. (1a ed.). Querétaro, México: PNUMA.
- SEGOB-CENAPRED. (2014). *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social*. SEGOB-CENAPRED.





Extenso ID: 24. John Day, Paul Kemp, Alejandro Yanez. CONTINENTAL SHELF RIVER PLUMES IN THE GULF OF MEXICO PROMOTE ECOLOGICAL RESILIENCE IN A TIME OF CLIMATE CHANGE

[Regresar al índice](#)

<sup>1</sup>Louisiana State University, <sup>2</sup>Instituto de Ecología, AC.

### Resumen:

Deltas and estuaries built by the Mississippi/Atchafalaya River (MAR) and the Usumacinta/Grijalva River (UGR) account for 80 percent of all Gulf of Mexico (GoM) coastal wetlands. They rank first and second in freshwater discharge to the GoM and owe their natural resilience to a modular geomorphology that spreads risk across the coast-scape while providing ecosystem connectivity through shelf plumes that connect estuaries. Both river systems generate large plumes that strongly influence fisheries production over large areas of the northern and southern GoM continental shelves. Recent watershed process simulations indicate that the two systems face diverging futures, with the mean annual discharge of the MAR predicted to increase 11 to 63 percent, and that of the UGR to decline as much as 80 percent in the 21st century. MAR delta subsidence rates are the highest in North America, making it particularly susceptible to channel training interventions that have curtailed a natural propensity to shift course and deliver sediment to new areas, or to refurbish zones of high wetland loss. Undoing these restrictions in a controlled way has become the focus of a multi-billion-dollar effort to restore the MAR delta. The UGR is most threatened by land use changes that interfere with a deltaic architecture that is naturally resilient to sea level rise. This recognition has led to successful efforts in Mexico to protect still intact coastal systems against further anthropogenic impacts by establishment of reserves such as the Centla Wetland Biosphere Preserve and the Terminos Lagoon Protected Area. The greatest threat to the UGR system, however, is an external one that will be imposed by the severe drying predicted for the entire Mesoamerican “climate change hot-spot”, a change that will necessitate much greater international involvement to protect threatened communities and lifeways as well as rare habitats and species.

**Palabras Clave:** Mississippi, sediment bypassing, delta, climate change



Extenso ID: 187. Lilia M. Gama Campillo, Eduardo Javier Moguel Ordoñez, Hilda Díaz López, Ricardo Collado Torres, , Coral Pacheco Figueroa, Mario A. Ortiz Pérez, Juan De Dios Valdez Leal, Ruth Del Carmen Luna Ruiz, Carolina Zequeira-Larios, Elias José Gordillo Chávez; Ena Mata Zayas, Maria Elena Macías Valadez, Luis José Rangel Ruiz. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN ANTE LA ELEVACIÓN MEDIA DEL NIVEL DEL MAR EN LA ZONA COSTERA DE TABASCO

[Regresar al índice](#)

Lilia M. Gama Campillo<sup>a</sup> ([lillygama@yahoo.com](mailto:lillygama@yahoo.com)), Eduardo Javier Moguel Ordoñez<sup>a</sup> ([moguel03@hotmail.com](mailto:moguel03@hotmail.com)), Hilda Díaz López<sup>a</sup> ([hildadiaz2@hotmail.com](mailto:hildadiaz2@hotmail.com)), Ricardo Collado Torres<sup>a</sup>, ([richyboy14@hotmail.com](mailto:richyboy14@hotmail.com)), Coral Pacheco Figueroa<sup>a</sup> ([pachecoral@gmail.com](mailto:pachecoral@gmail.com)), Mario A. Ortiz Pérez<sup>b, †</sup>, Juan de Dios Valdez Leal<sup>a</sup> ([jdvaldezleal@yahoo.com.mx](mailto:jdvaldezleal@yahoo.com.mx)), Ruth Del Carmen Luna Ruiz<sup>a</sup> ([minluna\\_18@hotmail.com](mailto:minluna_18@hotmail.com)), Carolina Zequeira-Larios<sup>a</sup> ([carolina\\_zequeira@yahoo.com.mx](mailto:carolina_zequeira@yahoo.com.mx)), Elias José Gordillo Chávez<sup>a</sup> ([elias.gordillo@yahoo.com.mx](mailto:elias.gordillo@yahoo.com.mx)); Ena Mata Zayas<sup>a</sup> ([ena.matazayas@gmail.com](mailto:ena.matazayas@gmail.com)), Maria Elena Macías Valadez<sup>a</sup> ([mmacias\\_valadez@hotmail.com](mailto:mmacias_valadez@hotmail.com)), Luis José Rangel Ruiz<sup>a</sup> ([ljrangel@msn.com](mailto:ljrangel@msn.com))

<sup>a</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.División Académica de Ciencias Biológicas. Km 0.5 de la carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa, Tabasco. CP 86039

<sup>b</sup> Universidad Nacional Autónoma de México

## RESUMEN

En el estado de Tabasco se conjugan dos importante factores: primero, su porción norte es la zona de descarga de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta presentándose altitudes sobre el nivel del mar menores a 2 m, y segundo, se tiene un proceso de erosión costera muy dinámico en diversas porciones de su litoral. Aunado a lo anterior, los escenarios de elevación del nivel del mar proyectan incrementos de cerca de 82 cm de acuerdo al escenario RPC8.5 que es el más drástico planteado por el IPCC. Considerando que Tabasco geomorfológicamente tiene suelos aluviales y que el fenómeno de las inundaciones cíclicas anuales son parte de la conformación del territorio, la confluencia de la elevación del nivel del mar y las inundaciones, pone en riesgo a poco más de 800 poblaciones, predominantemente rurales, de 14 municipios del estado por la potencial elevación media del nivel del mar entre 0 y 1 metro de altitud (valor máximo del escenario RPC8.5 de acuerdo al IPCC (2014)). Ante este escenario se hace indispensable contar con medidas potenciales para protección de la población, protección costera y de los recursos naturales viables de proteger. Para ello se identificaron las zonas y poblados en riesgo y se definieron criterios para aplicación de las medidas potenciales de protección, generándose un listado de medidas potenciales, analizando las fortalezas y debilidades de las mismas,



definiendo la prioridad de aplicación (alta, media, baja) y el ámbito de competencia de la misma (federal, estatal. Municipal, sociedad civil, academia).

**Palabras clave:** cambio climático, vulnerabilidad de la población, elevación del nivel del mar, medidas de protección.

## 1 INTRODUCCIÓN

Tabasco se ubica en una llanura de inundación costera, que representa un área adyacente a varios ríos y arroyos sujetos a inundaciones recurrentes que desembocan en un importante número de lagunas y pantanos cercanos a la costa. De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), es una de las zonas más vulnerables a impactos relacionados con el cambio climático en México, particularmente en relación al aumento del nivel del mar, altas temperaturas, sequías e inundaciones por eventos extraordinarios de precipitación. Por lo mismo, estos aspectos toman relevancia cuando se pretende prever y minimizar los efectos del cambio climático en el bienestar social.

Para entender la magnitud de problema se debe señalar que la degradación de los paisajes, aunado a las amenazas de cambio climático (IPCC, 2000, 2007, 2014), son el problema ambiental más crítico hoy y del futuro que enfrenta el estado de Tabasco, que ha sufrido en las últimas décadas un cambio dramático en el uso del suelo relacionado al crecimiento de las actividades agrícolas y pecuarias, como parte de la estrategia de desarrollo y de modernización productiva. Al haber perdido la mayoría de sus bosques tropicales, y alterado o rellenado muchos humedales, hoy Tabasco presenta drásticas modificaciones a sus sistemas naturales (Chiappy y Gama 2001) con consecuencias en su componente hidrológico que, en otras circunstancias funcionaría, se esperaría mayor resiliencia para adaptarse a los efectos del cambio climático. Estas pérdidas de cubierta vegetal resultan no solo en una baja en la calidad del hábitat que no solo afectan de manera directa a los habitantes de la zona, sino generan pérdida de los servicios ambientales que regulan la dinámica, funcionalidad y los procesos de los ecosistemas, magnificandose impactos como inundaciones, cuya dinámica ha roto los parámetros anuales se espera incrementen en el futuro cercano por la variabilidad climática vinculada al cambio climático (Gama *et al.* en prensa). En el caso de las costas, las presas hidroeléctricas, que en un momento se consideró una estrategia para salvaguardar a la población contra las inundación, hoy se ha vuelto una trampa debido a que los sedimentos no son aportados a las costas para fortalecer los sistemas naturales y que unido a otros componentes como la erosión costera incrementan su vulnerabilidad (Nageswara *et al.* 2010, Parthasarathy y Natesan, 2015).

De acuerdo a los escenarios esperados de cambio climático en el estado para 2099, las tendencias serán un aumento en la temperatura del aire que puede oscilar entre tres grados centígrados (Magaña *et al.*, 2000, Magaña *et al.*, 2004, Mendoza *et al.* 2004) hasta cuatro grados centígrados en los peores escenarios (IPCC, 2014), y una disminución en la precipitación de hasta 200 mm anuales. Si se considera que la altitud en la región costera de Tabasco oscila de -1 m hasta 4 m sobre el nivel del mar (salvo en lo bordos contruidos como protección contra



inundaciones que en algunas zonas que puede tener elevaciones de hasta dos metros más), esta condición genera intercambios importantes de flujos a través de los ríos que afectan directamente la dinámica de las costas (Ortiz-Pérez y Méndez 1999, Parthasarathy y Natesan, 2015).

En relación a la vulnerabilidad por la elevación del nivel del mar, de acuerdo a un monitoreo realizado por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco junto con investigadores del Instituto de Geografía de la UNAM, se evidenció que existen dos causas que provocan fuertes impactos actualmente: la erosión costera por el oleaje y la subsidencia (Ortiz-Pérez y Méndez 1999, Tejeda y Rodríguez-Viqueira, 2007) lo que modifica drásticamente muchos puntos de costa anualmente. Lo anterior, aunado a los escenarios esperados de elevación del mar estimada por el IPCC, hacen muy vulnerable a esta región en el escenario de llegar a elevarse el nivel del mar en 90 centímetros sobre el nivel actual (IPCC, 2014), esperandose cambios en la línea de costa o intrusiones marinas que provocarían salinización especialmente en la región Chontalpa donde los procesos de la costa son más dinámicos (Ortiz-Pérez y Méndez 1999).

De acuerdo con estas estimaciones, el nivel más bajo de cambio de nivel del mar será de 20 cm y está basado en las tasas históricas de cambio de nivel del mar, siendo estos escenarios importantes de considerar en las zonas más vulnerables de la llanura costera de Tabasco, cercanos a la zona de costa, que ya están expuestos a los impactos.

El escenario intermedio es de 0.40 m y este escenario es importante para las poblaciones en riesgo que tendrán poco tiempo para iniciar procesos de adaptación, de acuerdo a lo proyectado por el incremento del nivel del mar (IPCC, 2014b).

El escenario intermedio-alto es de 1.22 m y se relaciona con el deshielo de las masas polares, lo que impactaría en Tabasco importantes zonas de la costa de los municipios de Cárdenas y Paraíso donde las lagunas costeras serían bahías y podría ocasionar la salinización de zonas de Pantanos de Centla por la vulnerabilidad que a este aumento tiene la Laguna de Términos, la cual está conectada al sistema de la Reserva de la Biosfera de “Pantanos de Centla”.

El escenario más dramático y menos posible podría ser el incremento de poco más de dos metros, que sería el resultado de un fuerte deshielo de masas polares y el impacto en el estado de Tabasco podrá llevarlo a perder gran parte de su territorio, modificando gravemente la línea de costa.

Este trabajo se orientó hacia la identificación de las áreas que en la zona costera de Tabasco están en riesgo ante la elevación del nivel del mar y en la revisión de medidas que ayuden a la adaptación ante la ocurrencia de ese fenómeno.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

El área de estudio comprende a toda la porción de Tabasco que se encuentran en la Llanura Costera del Golfo Sur, la cual ocupa la mayor parte del territorio tabasqueño (figura 1). La llanura costera está conformada por el relleno de cuencas marinas y lacustres con aportes de materiales terrestres, transportados por una compleja red de corrientes superficiales en la llanura

costera. Estos han dado lugar a la formación del gran complejo deltaico formado por los ríos Grijalva-Mezcalapa-Usumacinta y también dieron origen a la planicie fluviodeltaica del río Tonalá. El complejo deltaico tabasqueño está sujeto a subsidencias debido a la acumulación de grandes cantidades de sedimentos, que se compactan y propician un hundimiento generalizado de esta porción de la llanura costera (Ortiz-Pérez *et al.* 2005).

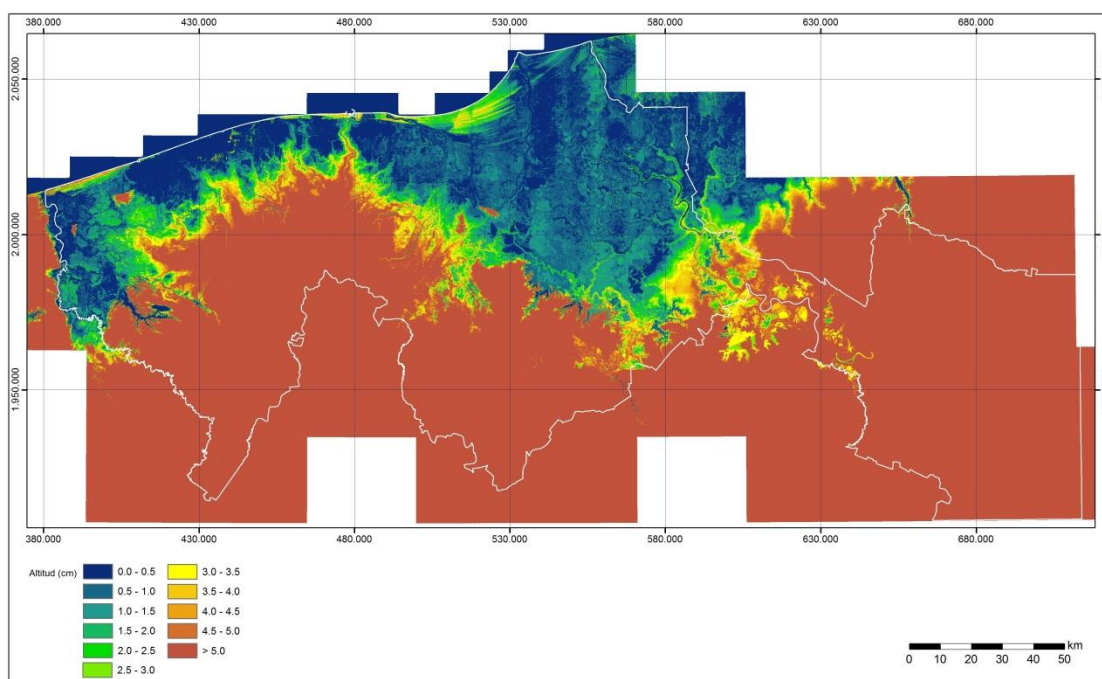


Figura 1. Ubicación del área estudiada. En base al Mapa de fisiografía de INEGI (2014).

Para generar el modelaje de los impactos en la costa, se conjuntó información de tasas de erosión y acumulación en la zona costera, de subsidencia y datos de potenciales elevaciones del nivel del mar, sobre cartografía digital con información de altitud y uso del suelo y vegetación, en una base de datos cartográfica que se manejó con los software IDRISI Terraset y ArcMap 10.0.

El mapa de altitud o modelo digital de terreno se construyó con imágenes Lidar para encontrar las cotas de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 metros de altitud y generar potenciales escenarios al 2100. Con la información generada se realizó álgebra de mapas que permite sobre una cartografía base (modelo digital de terreno combinado con el mapa de vegetación y uso de suelo), asignar valores potenciales de impacto por elevación del nivel del mar. A las zonas identificadas se les va agregando o restando valores de acuerdo a los datos:

**Impacto resultante** = -2 mm por subsidencia, +/- erosión anual X número de años – (zonas de 0.5 o 1 o 1.5 o 2 m de altitud)



## 2.1 Balance de erosión y acumulación de la zona costera de Tabasco

Los datos utilizados en este proceso son los generados por el grupo de Ortiz-Pérez y colaboradores (para los años 1988, 1994, 1996, 1999 y 2010) así como los generados por Hernández-Santana J.R. y colaboradores para el año 2008.

En esos trabajos se utilizó la información planimétrica digitalizada de la costa, contenida en las hojas cartográficas E15A77-Sánchez Magallanes, E15A87-Benito Juárez, E15A78-Cocohital, E15A79-Comalcalco, E15A71-Villa Vicente Guerrero, E15B61-Felipe Carrillo Puerto y E15A62-Frontera a escala 1:50 000 (INEGI, 1980, 1982, 1985, 1998, 1999, 2001). Los datos fueron compatibilizados y procesados digitalmente, utilizando ILWIS versión 3.0 Academic y Arc View versión 3.0 para generar los datos vectoriales de la línea de costa en cada período y observar los cambios ocurridos mediante la comparación de los mismos.

Para la evaluación de la erosión se aplica la Regla de Bruun para las áreas rectas de la costa, asumiendo que se conserva la forma promedio o constante en relación al nivel del mar, manteniendo la forma del perfil, la parte superior del perfil se erosiona y la parte más baja se incrementa, trasladando el litoral hacia la tierra.

$$R = G (L/H) S \quad (1)$$

donde:

$$H = B + h^* \quad (2)$$

R representa la recesión del litoral debido a un aumento del nivel del mar S; H es la altura activa del perfil;  $h^*$  es la profundidad en la frontera costera, denominada 'profundidad de cierre'; B es la elevación ideal de la tierra; L es la anchura activa del perfil entre fronteras; y G representa el tamaño de las partículas o granos de material erosionado, es decir, el material que es demasiado fino para la playa se pierde, aumentando la erosión pronosticada. Se asume que el nivel del mar no cambia la forma del perfil, sin embargo crea un potencial para la erosión asociado a la energía de las olas realizan.

## 2.2 Información de subsidencia

Al igual que el caso anterior los datos usados son los presentados por el grupo de Ortiz-Pérez para el estado de Tabasco con estimaciones de hundimiento medio de dos milímetros al año que son los valores esperados para las cuencas donde hay actividades de extracción petrolera (Törnqvist, 2008). Se utilizó el modelo digital de terreno para evaluar la subsidencia por interferometría, que consiste en combinar la luz proveniente de diferentes receptores, telescopios o antenas de radio para obtener una imagen de mayor resolución. Con este método la capa de elevación puede ser removida para intervalos pequeños (Gabriel *et al.*, 1989)

### 2.3 Datos estimados de elevación del nivel del mar

En este caso se utilizaron los datos generados por el IPCC (IPCC, 2013), que en su último informe (V) las proyecciones para el futuro son más preocupantes y con menos incertidumbre que en el IV. Para el escenario 2081-2100 de emisiones altas (“Business as usual”) se espera un impacto global de entre 45-82 cm de elevación del nivel del mar para el año 2100; en un escenario en que se genera una agresiva campaña de mitigación para disminuir el impacto de los gases de efecto invernadero, se espera un incremento de 28-61 cm, y en el escenario menos favorable se espera un incremento de más de un metro de elevación media del mar. Los escenarios más recientes planteados por el IPCC (2014) en relación a la elevación del nivel del mar, muestran que ésta puede ir, dependiendo del escenario analizado, de alrededor de 50 centímetros a casi un metro.

Debido a lo complejo que es determinar los posibles escenarios de forma local por las variaciones que se presentan regionalmente se consideraron otros escenarios generados por participantes del grupo de especialistas del IPCC. En Jevrejeva *et al.* (2014), se presenta un comparativo de varios estudios junto con el generado por el IPCC en su quinto informe donde se aprecian otros potenciales escenarios generados por diferentes grupos de científicos en el mundo. En estas estimaciones se señala que el peor escenario posible para fin de siglo de que el mar se eleve 1.80 m es muy improbable de acuerdo a los análisis realizados por Jevrejeva *et al.* (2014). Estos datos son vitales para la planeación ya que permiten establecer una línea máxima de posible afectación que tiene poca certidumbre de suceder, que comparada con lo planteado en el quinto informe (1.24 m) por (Houghton *et al.* 1990 y 1996) presenta una diferencia de 56 centímetros.

### 2.4 Análisis de vulnerabilidad costera considerando las variables anteriores.

La estrategia para evaluar la vulnerabilidad integra datos de la erosión, elevación sobre el nivel del mar, potencial para inundaciones, subsidencia y la pérdida de humedales costeros.

Se considerará la exposición y el riesgo a la inundación, considerando la población costera, para derivar:

- 1) Personas en la zona de peligro: el número de personas que viven por debajo de la cota identificada en los eventos extraordinarios ocurridos.
- 2) Media anual de personas inundadas: el número promedio de personas que experimentan inundaciones por tormentas por año.

Se analizó la pérdida de los humedales costeros que son sensibles al aumento del nivel del mar por su ubicación, considerando que son dinámicos, y tienen la capacidad de migrar al interior como se ve con el Manglar en Tabasco. Se consideró que a medida que el nivel del mar aumenta en el escenario cercano, las áreas bajas adyacentes a los humedales pueden llegar a ser ideales para el crecimiento de especies de los humedales. En sitios sin áreas costeras bajas, o en áreas que se protegen para frenar las inundaciones costeras, la migración de los humedales no podrán ocurrir y



se debe de considerar también la tasa actual de pérdida de humedales por año. En estudios costeros detallados, las pérdidas presentes y las posibles futuras deben ser estimadas para situar a los impactos del aumento del nivel del mar en contexto: estas otras pérdidas muchas veces exceden ampliamente a los impactos posibles del aumento del nivel del mar.

### 3 RESULTADOS

El procesamiento realizado con el modelo digital de terreno generando una clasificación de altitud para el estado de Tabasco (tabla 1) permitió encontrar las cotas potenciales de impacto asociadas al incremento en el nivel medio del mar y asociada a la tasa anual de subsidencia anual y las tasa de erosión dan una extensión de 13,789 kilómetros cuadrados para el impacto esperado al 2100 de cerca de 82 cm de acuerdo al escenario RPC8.5 que es el más drástico planteado por el IPCC.

Tabla 1. Datos de área de las clases identificadas en el procesamiento del Modelo digital de terreno para la región del estado de Tabasco, usando una imagen Lidar los intervalos son los metros sobre el nivel del mar identificados.

Clases	Altitud (msnm)	Superficie estatal (km <sup>2</sup> )	%
1	0 a 1	13,739.19	55.58
2	1 a 2	5,434.56	21.99
3	2 a 3	1,871.19	7.57
4	3 a 4	862.24	3.49
5	4 a 5	494.15	2.00
6	5 a 6	325.90	1.32
7	6 a 7	234.14	0.95
8	7 a 8	174.90	0.71
9	8 a 9	136.21	0.55
10	9 a 10	118.12	0.48
11	10 a 12	177.05	0.72
12	12 a 18	334.65	1.35
13	18 a 30	475.47	1.92
14	30 a 45	283.20	1.15
15	> 45	57.48	0.23
		<b>24,718.45</b>	<b>100.00</b>

La mayor parte del territorio analizado (Tabla 1) corresponde a zonas bajas que por sus características son de suelos de mal drenaje y susceptibles a inundación por mareas o desbordes de los ríos. En la figura 2 se presentan las porciones de territorio de las zonas entre 0 y 1.0 msnm que son las zonas que se encuentran en mayor riesgo por el impacto asociado al incremento medio del nivel del mar asociado al deshielo de las masa polares, de acuerdo al escenario RPC8.5.

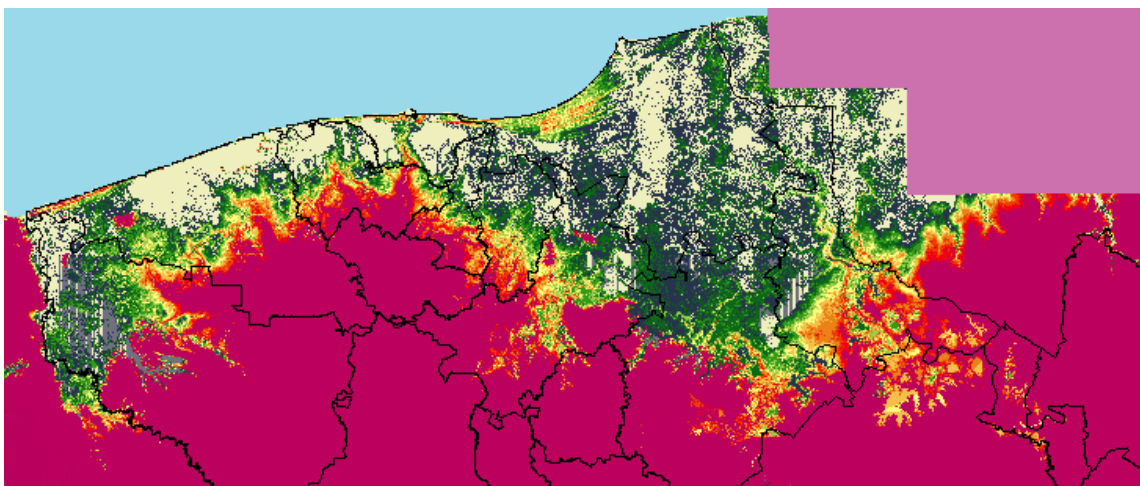


Figura 2. Imagen donde se muestra en color crema las zonas que podrían resultar afectadas por una elevación de un metro de acuerdo a lo proyectado por el IPCC (2014) en el escenario RCP8.5.

En la franja costera, es evidente la vulnerabilidad en la que se encuentra la zona de las lagunas costeras Carmen-Pajonal-Machona, que corresponden a los municipios de Cárdenas y Paraíso, ante la amenaza de la elevación media del nivel del mar entre 0 y 1.5 metros de altitud. Como se aprecia, las mismas no solo se perderían sino que sería un punto de entrada de salinización a los diferentes arroyos que desembocan en ellas.

En relación a los centros poblacionales en riesgo ante la elevación media del nivel del mar entre 0 y 1 metro de altitud (valor máximo del escenario RPC8.5) se encontró que 836 poblados podrían ser impactados (Tabla 2) siendo que prácticamente la totalidad de los mismos se encuentran en la franja costera y lacustre (Figura 3).

Tabla 2. Poblados que serían impactados por municipio por la potencial elevación media del nivel del mar entre 0 y 1 metro de altitud (valor máximo del escenario RPC8.5 de acuerdo al IPCC (2014)).

Clave del municipio	Municipio	Poblados
1	Balancán	2
2	Cárdenas	87
3	Centla	233
4	Centro	64
5	Comalcalco	73

6	Cunduacán	1
8	Huimanguillo	70
10	Jalpa de Méndez	39
11	Jonuta	108
12	Macuspana	58
13	Nacajuca	54
14	Paraíso	47
Total general	Total general	836

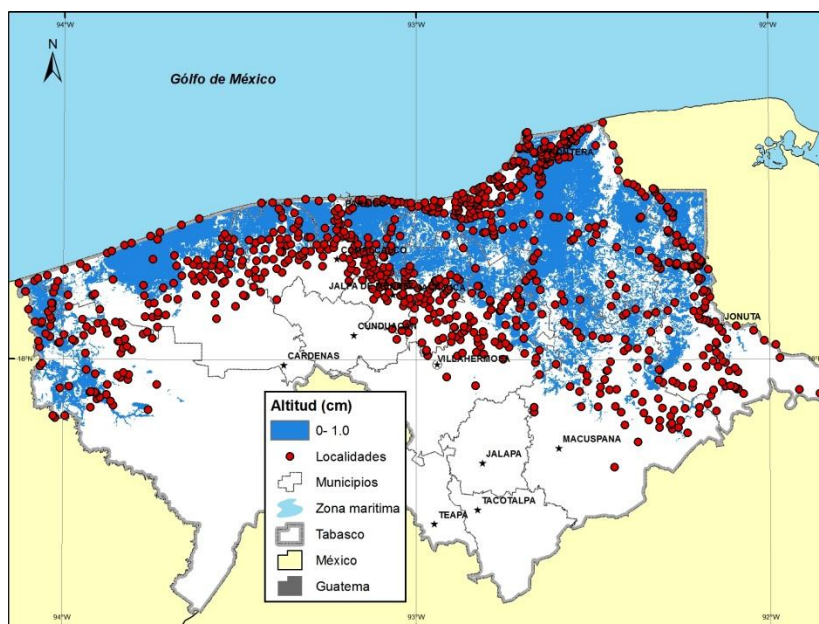


Figura 3. Localidades de Tabasco en riesgo ante la amenaza de la elevación media del nivel del mar entre 0 y 1 msnm.

Como se aprecia en la Figura 4, la red carretera del estado se vería seriamente afectada ya que se tendrían impactos en el tramo de la carretera federal 180 (en porciones de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo) en la colindancia con el estado de Veracruz, que es la carretera que comunica directamente al centro de la república con la Península de Yucatán. Y esa misma carretera se vería afectada en su tramo Villahermosa-Ciudad del Carmen, afectando una de las principales vías a la Península. Por otro lado se afectaría a una gran cantidad de carreteras locales que comunican poblados del norte del estado.



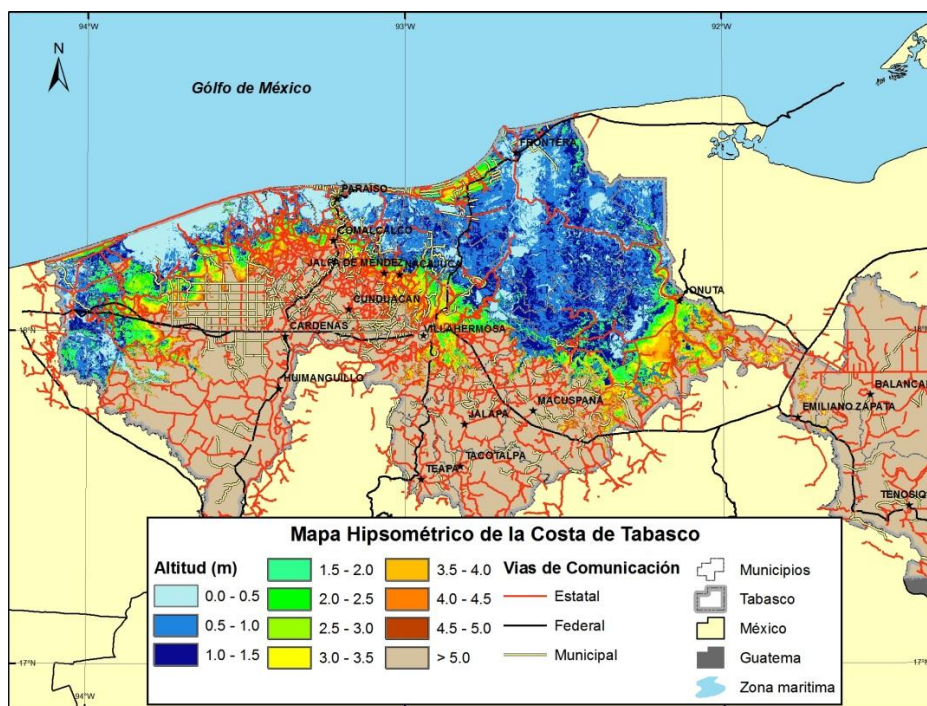


Figura 4. Red de carreteras de Tabasco en riesgo ante la amenaza de la elevación media del nivel del mar por rangos de cada 50 centímetros.

#### 4. ALTERNATIVAS POTENCIALES DE ADAPTACIÓN A LOS IMPACTOS Y VULNERABILIDAD ENCONTRADOS

Para poder identificar, proponer, evaluar e implementar medidas de adaptación para la zona costera de Tabasco se analizaron una serie de opciones, su potencialidad para ser aplicadas y una propuesta de priorización de utilidad en el tiempo de acuerdo a los criterios de la tabla 3. Las medidas de adaptación se separaron en acciones e infraestructura. En la primera se incluyen aspectos como estudios, restauración de hábitats y reglamentos, y en el segundo aspectos como espigones, arrecifes y rellenos. La selección de medidas se basó en los criterios de priorización señalados en la Tabla 3.

Tabla 3. Criterios considerados para aplicación de las medidas potenciales para protección costera.

Criterio de priorización
Potencial de protección en el tiempo (mayor valor la que da mayor protección en el tiempo)
Facilidad de implementación (mayor valor la más fácil de implementar)
Costo potencial (con mayor valor la de menor costo)
Extensión del área beneficiada (con mayor valor la que cubre mayor extensión)
Cantidad de población beneficiada (con mayor valor la que beneficia a más población)



Número de sectores beneficiados (con mayor valor la que beneficia a más sectores)

La medida más importante, en términos productivos, identificada para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos asociados a la potencial elevación del nivel del mar en la zona costera, es una adaptación basada en el uso de ecosistemas que se define como: el uso de la biodiversidad y los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas. Esta medida integra no solo la capacidad de adaptación, sino el manejo sostenible, la conservación y la restauración de ecosistemas, para proveer servicios que permitan a las personas adaptarse a los impactos del cambio climático, así como mantener y aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y las personas.

En el aspecto de infraestructura, las medidas más importantes recomendadas son la construcción de Barreras para marea de tormenta Malecón de retención Rompeolas no ligado a la playa Dren de playa, en el entendido que estas medidas funcionarán como mitigantes a impactos drásticos sobre todo a centros poblacionales e infraestructura de comunicación, pero no para impedir los efectos finales que la elevación del nivel del mar originarán.

## 6. LITERATURA CITADA

- Gabriel, A.K., Goldstein, R.M. and Zebker, H.A. 1989. Mapping Small Elevation Changes over Large Areas: Differential Radar Interferometry. *Journal of Geophysical Research* 94(7):9183- 9191.
- Gama L., E. M. Ordoñez, C. Villanueva-García, M. A. Ortiz-Pérez, H. D. López, R. C. Torres & M. E. M. Valadez. 2010. Floods in Tabasco Mexico: history and perspectives. *In: Floods Recovery, Innovation and Response II*. (D. deWrachien, D. Preoverbs, C.A Brebbia & S. Mambretti Eds.). 25-33 pp. WitPress.
- Gama L., C. Villanueva-García, H. Díaz-López, R. Collado-Torres y E.J. Moguel Ordoñez (en prensa). Vulnerabilidad al cambio climático en Tabasco. Biodiversidad del Estado de Tabasco. (Ed. D. Palma y E. Mata Zayas) Editorial CONABIO-Gobierno del Estado de Tabasco.
- Hernández Santana, J. R. M. A. Ortiz Pérez, A. P. Méndez Linares y L. Gama Campillo. 2008. Morfodinámica de la línea de la costa del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente. *Boletín del Instituto de Geografía* 65:7-21. UNAM.
- Houghton J.T., G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (ed.). 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment* (Cambridge: Cambridge University Press).
- Houghton J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (ed). 1996. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change* (Cambridge: Cambridge University Press).



- IPCC. 2000. Informe especial del IPCC. Escenarios de emisiones. Informe especial del grupo de trabajo III del IPCC. OMM/PNUMA.
- IPCC. 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Resumen para responsables de políticas del Grupo de Trabajo II. Cambridge University Press. 23 pp.
- IPCC. 2013. Resumen para responsables de políticas. *En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- IPCC. 2014. Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Grupo de Trabajo II. IPCC. 40 pp.
- IPCC. 2014b. 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, 151 pp.
- Jevrejeva S., A. Grinsted. & J.C. Moore. 2014. Upper limit for sea level projections by 2100. *Environ. Res. Lett.* 9 (2014) 104008.
- Magaña V., C. Conde, O. Sánchez and C. Gay. 2000. Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. *In: México: Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México*, (V. Magaña Ed.). SEMARNAP, UNAM, USCSP, (C. Gay, Compilador), México, D. F., 15–21.
- Magaña V., Méndez J.M, Morales R. y C. Millán. 2004. Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México. *En: Cambio climático: una visión desde México*. J. Martínez, A. Fernández Bremauntz y P. Osñaya (Comps.) Ed. INE/SEMARNAT. Pag. 203-214.
- Nageswara Rao K., P. Subraolu, K. Ch. V. Naga Kumar, G. Demudu, B. Hema Malini, A.S. Rajawat and Ajai. 2010. Impacts of sediment retention by dams on delta shoreline recession: evidences from the Krishna and Godavari deltas, India. *Earth Surf. Process. Landforms* 35: 817-827.
- Ortiz-Perez, M.A. 1988. Evidencias de cambio geomorfológicos del sistema litoral mediante el análisis de imágenes aéreas. *Memorias, Ecología y conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva*, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, División Regional Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco. pp. 43-54.
- Ortiz-Pérez M. A. 1994. Repercusiones del ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México: un enfoque geográfico de los problemas del cambio global. México ante el Cambio Climático, *Memorias del Primer Taller de Estudio de País: México*, Cuernavaca, Morelos. pp. 191-197.



- Ortiz-Pérez M.A., C. Valverde y N.P Psuty. 1996. The impacts of sea level rise and economic development on the low-lands of the Mexican Gulf coast. *En: A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez y D. Zárate (eds.) Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias.* Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX. Serie Científica 5:459-470.
- Ortiz-Pérez M. A. y J. Benítez. 1996. Elementos teóricas para el entendimiento de los Problemas de impacto ambiental en planicies deltaicas: la región de Tabasco y Campeche. P. 483-503. *In: A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J. Benítez y D Zarate-Lomelí (eds). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias, EPOMEX. Serie Científica 5.* Universidad Autónoma de Campeche. PP. 666 p
- Ortiz-Pérez M. A. y A. P. Méndez L. 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas* 39:68–81.
- Ortiz-Pérez M.A., J.R. Hernández-Santana, J.M. Figueroa MahEng, y L. Gama Campillo. 2010. Tasas del avance transgresivo y regresivo en el frente deltaico tabasqueño: en el periodo comprendido del año 1995 al 2008, p. 305-324. *En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J. L. Rojas Galaviz (ed.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche.* 514 p.
- Parthasarathy A. and U. Natesan. 2015. Coastal vulnerability assessment: a case study on erosion and coastal change along Tuticorin, Gulf of Mannar. *Natural Hazards* 75 (2)1713-1729.
- Tejeda Martínez, A. y L. Rodríguez-Viqueira. 2007. Estado de la investigación de los aspectos físicos del cambio climático en México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* 62:31-43. UNAM.



Extenso ID: 14. David ORTEGA-Gaucin, Israel Velasco Velasco, Jesús De La Cruz Bartolón y Heidy Viviana Castellano Bahena. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD ANTE LA SEQUÍA EN LOS ORGANISMOS DE CUENCA EN MÉXICO

[Regresar al índice](#)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos. e-mail: [dortega@tlaloc.imta.mx](mailto:dortega@tlaloc.imta.mx)

## RESUMEN

La vulnerabilidad ante la sequía es el grado en que un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos, daños o perjuicios causados por la sequía. En este artículo se presenta una metodología para calcular índices de vulnerabilidad ante la sequía en los organismos de cuenca en México, la cual se basa en la concepción de vulnerabilidad del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), quien la divide en tres componentes: grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Cada una de estas componentes está representada por un conjunto de indicadores relativos a escala municipal que permiten a su vez determinar tres tipos básicos de vulnerabilidad: económica, social y ambiental, las cuales en conjunto dan lugar a la vulnerabilidad global. Los resultados indican que la metodología es viable para su aplicación en los distintos organismos de cuenca del país, e inclusive puede ser adaptada para aplicarse a nivel estatal o nacional. Su principal ventaja es que se basa en procedimiento analítico objetivo que permite identificar los municipios más vulnerables desde los puntos de vista económico, social y ambiental, de tal manera que es factible direccionar mejor los recursos y los esfuerzos para reducir la vulnerabilidad ante la sequía en las diversas regiones del país.

**Palabras clave:** peligro natural, amenaza climática, riesgo, grado de exposición, capacidad de adaptación.

## 1 INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno natural que forma parte intrínseca del clima y al que eventualmente todos los lugares del planeta están expuestos, incluso las zonas más lluviosas del mundo. Se caracteriza por ser un evento inevitable y todavía poco predecible (Kim *et al.*, 2002), no tiene epicentro ni trayectoria precisa, es de avance lento y gradual, y abarca grandes extensiones geográficas, razones por las cuales se hace difícil identificar sus límites espaciotemporales y proporcionar ayuda a la población afectada por el fenómeno.

La vulnerabilidad ante la sequía se relaciona de manera inversa con el grado de desarrollo socioeconómico de las áreas afectadas: mientras que en los países desarrollados la sequía se puede soportar por lo general sin graves consecuencias (dado que disponen de los medios económicos y estructurales para afrontarla), en las áreas más marginadas una sequía es capaz de provocar hambre, pobreza, migración y reducción en el bienestar y calidad de vida (Postel, 1991). El nivel tecnológico de una región o país, así como también el nivel organizativo, institucional y social, son elementos clave en la vulnerabilidad ante la sequía. Un ejemplo claro





de la diferencia en la vulnerabilidad se observa entre los campesinos y granjeros mexicanos y los estadounidenses que viven en la frontera entre ambos países, con condiciones biológicas y físicas similares pero con características sociales, políticas, económicas e históricas diferentes (Vásquez-León *et al.*, 2003). Evidentemente, los primeros son más vulnerables que los segundos.

Por lo anterior, en México la escasez y falta de agua provocada por la sequía puede ser un factor decisivo para que algunos poblados sean abandonados por los habitantes en etapa productiva (sobre todo en zonas áridas y semiáridas del norte), que buscan oportunidades de empleo en las grandes ciudades o en el extranjero. Los “pueblos fantasmas”, donde en el mejor de los casos quedan mujeres, niños y viejos, que viven de lo escaso que produce la tierra y de lo que reciben de los jóvenes que han emigrado, son una prueba fehaciente de los alcances y del impacto que produce la sequía (Velasco *et al.*, 2005). De hecho, existen investigaciones recientes que demuestran que cuando los rendimientos de los cultivos –principalmente el maíz– disminuyen en México como consecuencia de la sequía, la emigración de personas hacia Estados Unidos se incrementa notablemente (Feng *et al.*, 2010).

En este contexto, con la finalidad de afrontar los efectos de las sequías con estrategias adecuadas de gestión del riesgo, y como una respuesta a la severa sequía que se vivió en la mayor parte del país en los años 2011 y 2012, el gobierno federal de México puso en marcha a partir del año 2013 el Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE), el cual tiene como objetivo implementar una serie de acciones preventivas y de mitigación para reducir la vulnerabilidad de la población ante este fenómeno natural (CONAGUA, 2014). Por ello, es importante realizar la evaluación de la vulnerabilidad en cada uno de los organismos de cuenca del país, tomando en cuenta que el riesgo de desastre por sequía depende no solamente del grado de reducción de la lluvia, de su duración o de su extensión geográfica, sino también de las condiciones de vulnerabilidad que favorecen o facilitan que se desencadenen desastres cuando ocurren este tipo de eventos.

Así, el presente artículo tiene como objetivo describir la metodología desarrollada por los autores para calcular índices de vulnerabilidad ante la sequía en los organismos de cuenca en México, usando indicadores relativos a escala municipal, los cuales pueden ser útiles para los tomadores de decisiones y los responsables de formular políticas públicas para identificar prioridades de inversión en reducción de la vulnerabilidad, y para identificar y proponer acciones efectivas de gestión del riesgo, considerando aspectos económicos, sociales y ambientales.

## 2 METODOLOGÍA

Con la finalidad de propiciar una mejor comprensión de la multidimensionalidad de la vulnerabilidad, la metodología se basa en la concepción de vulnerabilidad del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), en la que ésta se explica en función de tres componentes: el grado de exposición (*GE*), la sensibilidad (*S*) y la capacidad de adaptación (*CA*). El grado de exposición se define como la posibilidad de un sistema de quedar expuesto a un cambio ante una posible situación desestabilizadora positiva o negativa; la sensibilidad se refiere al grado en que un sistema responde a variaciones del entorno; y la capacidad de adaptación se refiere a la aptitud de un sistema para adecuarse o ajustarse a las nuevas condiciones de su entorno. Los dos primeros componentes juntos representan el impacto potencial (*I*) del fenómeno (es decir, la magnitud del daño esperado), y la capacidad de adaptación es la medida en que estos impactos pueden ser evitados; por lo tanto, la



vulnerabilidad es igual al impacto potencial menos la capacidad de adaptación, tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$V = f(I - CA) = f(GE + S - CA) \quad (1)$$

De acuerdo con la ecuación 1, al existir mayor grado de exposición y sensibilidad se tendrá mayor vulnerabilidad ante la sequía; y, en caso contrario, una mayor capacidad de adaptación en comparación con los otros dos parámetros, resultará en una menor vulnerabilidad.

Además de lo anterior, es importante tomar en cuenta que existen varios tipos de vulnerabilidad (física, económica, política, institucional, educativa, etc.) (Wilches-Chaux, 1993). Por ello, para efectos de este trabajo, se analizan cuatro tipos de vulnerabilidad ante la sequía: económica, social, ambiental y global, cuyos conceptos se describen a continuación:

- *Vulnerabilidad económica:* Se formula a partir de la relación indirecta entre los niveles de ingresos y el impacto de la sequía, provocando el aumento en el riesgo de padecer el desastre debido a la falta de financiamiento a la producción, insuficiencia de ingresos, desempleo o subempleo e inestabilidad laboral, entre otros.
- *Vulnerabilidad social:* Se refiere, por una parte, a la inseguridad e indefensión que experimentan las comunidades, familias e individuos en sus condiciones de vida ante el impacto causado por una sequía. La pobreza, la marginación, el rezago social, la dificultad de acceso a los servicios de salud, educación y recreación, limitan la capacidad de prevenir, mitigar y dar respuesta oportuna ante una situación de desastre por déficit hídrico.
- *Vulnerabilidad ambiental:* Está relacionada con la susceptibilidad intrínseca del medio o los recursos naturales a sufrir daños por la falta de agua, debido a que todos los seres vivos necesitan de ciertas condiciones ambientales para desarrollarse, y en caso de existir un deterioro de la naturaleza por la vía de la destrucción de las reservas del ambiente, los ecosistemas resultan altamente vulnerables ante amenazas como la sequía.
- *Vulnerabilidad global:* Es la integración de los tres tipos de vulnerabilidad descritos anteriormente, en la cual confluyen factores de tipo económico, social y ambiental.

Con base en los conceptos anteriores, se desarrolló la metodología que consta de nueve pasos, mismos que se ilustran en la Figura 1. El primer paso consiste en seleccionar el área de estudio; los pasos 2 al 4 se refieren a la selección de los indicadores, el procesamiento de la información y la normalización de los mismos; en el paso 5 se determina el peso específico de los indicadores; en el paso 6 se realiza el cálculo de los índices de vulnerabilidad, multiplicando el valor del indicador normalizado por su peso específico; en el paso 7 se ajustan los índices a la función de distribución beta; en el paso 8 se realiza la clasificación de los índices en cinco grados de vulnerabilidad; y, finalmente, en el paso 9 se obtiene el mapa de vulnerabilidad del organismo de cuenca en cuestión.

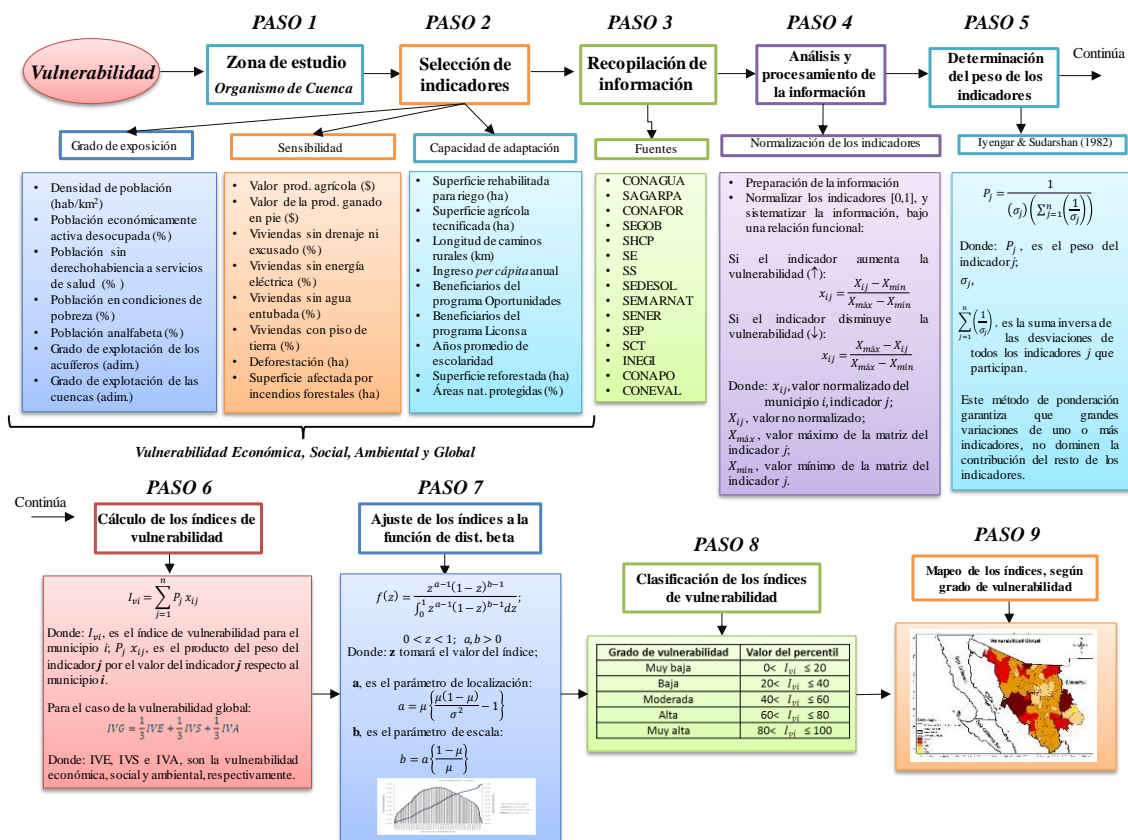


Figura 1. Pasos que conforman la metodología para el cálculo de índices de vulnerabilidad ante la sequía en los organismos de cuenca en México. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describe de manera detallada cada uno de los pasos que conforman la metodología propuesta:

## Paso 1. Definir la zona de estudio

En México, con la finalidad de administrar mejor las aguas nacionales, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha dividido el país en 13 organismos de cuenca (Figura 2). A manera de ejemplo, en este trabajo se ha elegido como área de estudio el organismo de cuenca Noroeste, el cual, como su nombre lo indica, se ubica en el noroeste del país, en una región eminentemente árida. Este organismo de cuenca tiene una superficie de 197,586 km<sup>2</sup> (10% del total nacional) y está conformado por un total de 78 municipios, de los cuales 71 pertenecen al estado de Sonora y 7 al estado de Chihuahua.

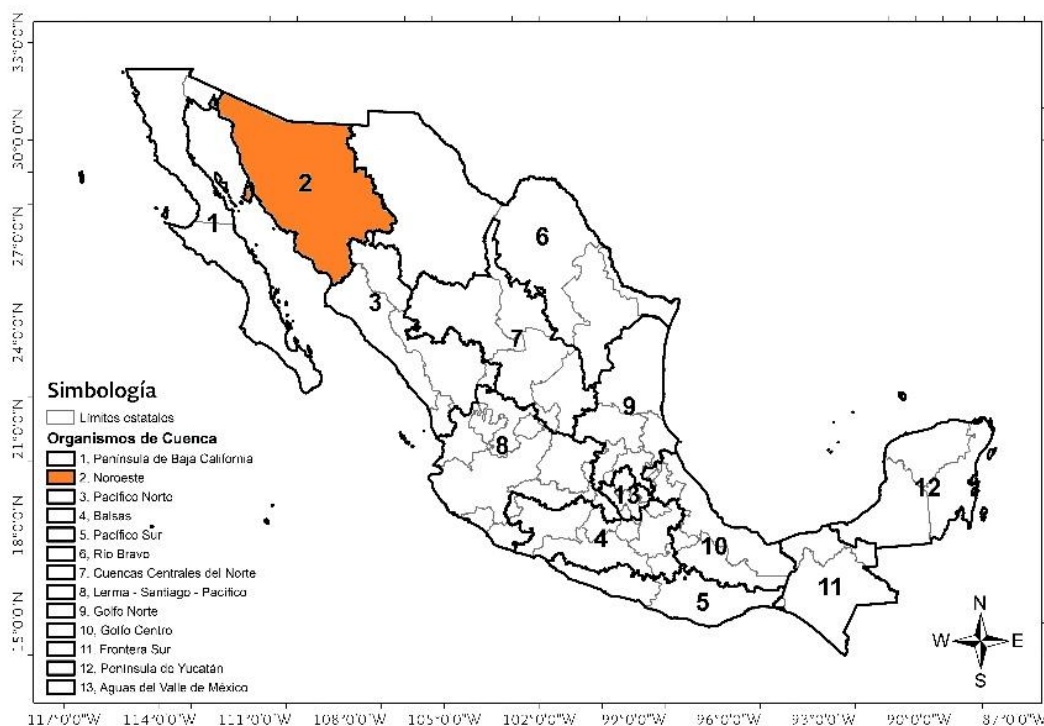


Figura 2. Delimitación de los organismos de cuenca en México y ubicación del organismo de cuenca Noroeste. Fuente: elaboración propia.

## Paso 2. Selección de los indicadores

Para la selección de los indicadores se tomaron en cuenta diversos criterios, aunque los determinantes fueron la relevancia directa con el aspecto que los indicadores intentan medir y la disponibilidad de datos a nivel municipal (o su facilidad de cálculo), a partir de cifras, índices, tasas o proporciones existentes en bases de datos reconocidas en el país (INEGI, CONAPO, CONEVAL, etc.). De esta manera, se eligió un conjunto de 24 indicadores, a partir de los cuales se construyó una matriz mediante la agrupación de los mismos en las tres componentes de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación) y en los cuatro tipos de vulnerabilidad (económica, social, ambiental y global), tal como se indica en el Cuadro 1.

Como se observa en dicho cuadro, para el cálculo de la vulnerabilidad global ante la sequía, se deben tomar en cuenta todos y cada uno de los indicadores descritos en el mismo, siguiendo el procedimiento que se señala en los pasos subsiguientes.

**Cuadro 1.** Matriz de indicadores seleccionados y agrupados en los tipos y componentes de la vulnerabilidad ante la sequía.

Tipo de vulnerabilidad		Componentes de la vulnerabilidad		
		Grado de exposición (GE)	Sensibilidad (S)	Capacidad de Adaptación (CA)
		Indicadores		
Global	Económica	✓ Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> )	✓ Valor de la producción agrícola de riego y temporal (miles \$)	✓ Superficie rehabilitada al riego (ha)
		✓ Población económicamente activa desocupada (%)	✓ Valor de la producción del ganado en pie (miles \$)	✓ Superficie agrícola tecnificada (ha)
				✓ Longitud de caminos rurales (km)
	Social	✓ Población en condiciones de pobreza (%)	✓ Viviendas sin agua entubada (%)	✓ Ingreso per cápita anual (dólares)
		✓ Población sin derechohabiencia a servicios de salud (%)	✓ Viviendas sin drenaje ni excusado (%)	✓ Beneficiarios del programa Oportunidades (%)
		✓ Población analfabeta (%)	✓ Viviendas sin energía eléctrica (%)	✓ Beneficiarios del programa Liconsa (%)
			✓ Viviendas con piso de tierra (%)	✓ Años promedio de escolaridad (adim.)
	Ambiental	✓ Grado de explotación de las cuencas (adim.)*	✓ Deforestación (% de área critica forestal)	✓ Superficie reforestada (ha)
		✓ Grado de explotación de los acuíferos (adim.)*	✓ Superficie afectada por incendios forestales (ha)	✓ Áreas naturales protegidas (% de área)

\*Debido a su importancia para la sequía, estos dos indicadores están contemplados en los tres tipos de vulnerabilidad: económica, social y ambiental. Fuente: elaboración propia.

### Paso 3. Recopilación y procesamiento de información

Este paso consiste en recopilar la información necesaria para determinar el valor de cada uno de los indicadores considerados en el análisis, de acuerdo con las fórmulas y las fuentes de información que se presentan en el Cuadro 2, donde también se anota la lista de las principales fuentes de información identificadas para calcularlos u obtenerlos.





*Cuadro 2. Fórmulas y fuentes de información para el cálculo de los indicadores.*

Indicador	Fórmula y unidades de medida	Fuente de información
Densidad de población (DP)	$DP = \frac{\text{No. habitantes}}{\text{Área (km}^2\text{)}}; \text{ hab/km}^2$	Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010)
Población económicamente activa desocupada (PEAD)	$PEAD = \frac{\text{PEA desocupada}}{\text{PEA total}}; \%$	Principales Datos Socioeconómicos por Municipio (INAFED, 2010)
Población sin derecho a servicios de salud (PSD)	$PSD = \frac{\text{Pob. derechohabiente}}{\text{Pob. total}}; \%$	Índice de Rezago Social (CONEVAL, 2010)
Población en condiciones de pobreza (PCP)	$PCP = \frac{\text{Pob. en condiciones de pobreza}}{\text{Pob. total}}; \%$	Medición de la Pobreza (CONEVAL, 2010)
Población analfabeta (PA)	$PA = \frac{\text{No. hab misma edad no saben leer}}{100 \text{ hab misma edad}}; \%$	Índice de Marginación (CONAPO, 2010)
Viviendas sin agua entubada (VSA)	$VSA = \frac{\text{No. viv. sin serv. agua entubada}}{\text{No. total viviendas}}; \%$	Estadísticas del Agua en México (CONAGUA, 2015)
Viviendas sin drenaje ni excusado (VSD)	$VSD = \frac{\text{No. viv. sin drenaje ni excusado}}{\text{No. total viviendas}}; \%$	Estadísticas del Agua en México (CONAGUA, 2015)
Viviendas sin energía eléctrica (VSE)	$VSE = \frac{\text{No. viv. sin energía eléctrica}}{\text{No. total viviendas}}; \%$	Índice de Marginación (CONAPO, 2010)
Viviendas con piso de tierra (VPT)	$VPT = \frac{\text{No. viv. con piso de tierra}}{\text{No. total viviendas}}; \%$	Índice de Marginación (CONAPO, 2010)
Ingreso per cápita anual (IPC)	$IPC = \frac{\text{PIB anual (dólares)}}{\text{No. habitantes}}; \text{ dólares/hab}$	Índice de Desarrollo Humano (PNUD, 2014)
Años promedio de escolaridad (APE)	Años acumulados de educación en personas mayores a 24 años; adim.	Índice de Desarrollo Humano (PNUD, 2014)
Beneficiarios del programa Oportunidades (BPO)	$BPO = \frac{\text{No. beneficiarios Oportunidades}}{\text{No. habitantes}}; \%$	Anuarios Estadísticos y Geográficos Estatales (INEGI, 2014)
Beneficiarios del programa Liconsa (BPL)	$BPL = \frac{\text{No. beneficiarios Liconsa}}{\text{No. habitantes}}; \%$	Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos (INEGI, 2010)
Longitud de caminos rurales (LCR)	LCR; cantidad, km	Anuarios Estadísticos y Geográficos Estatales (INEGI, 2014)
Valor de la producción agrícola de riego y temporal (VPA)	VPA; cantidad, miles de \$	Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2013)
Valor de la producción del ganado en pie (VPG)	VPG; cantidad, miles de \$	Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2013)
Superficie rehabilitada al riego (SRR)	SRR; cantidad, ha	Anuarios Estadísticos y Geográficos Estatales (INEGI, 2014)
Superficie agrícola tecnificada (SAT)	SAT; cantidad, ha	Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2013)
Grado de explotación de las cuencas (GEC)	$GEC = \frac{\text{Vol. anual de extr. sup. (hm}^3\text{)}}{\text{Vol. medio anualescurr. (hm}^3\text{)}}$	Estudios de Disponibilidad de Aguas Superficiales (DOF,

Indicador	Fórmula y unidades de medida	Fuente de información
Grado de explotación de los acuíferos (GEA)	$GEA = \frac{Vol. \text{ extracción (hm}^3\text{)}}{Recarga \text{ media anual (hm}^3\text{)}};$ adim.	2015) Estudios de Disponibilidad de Aguas Subterráneas (DOF, 2015)
Deforestación (DF)	$DF = \frac{Área \text{ deforestada (km}^2\text{)}}{Área \text{ total (km}^2\text{)}};$ %	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2012)
Superficie afectada por incendios forestales (SAI)	$DF = \frac{Área \text{ afectada por incendios (km}^2\text{)}}{Área \text{ total (km}^2\text{)}};$ %	Anuarios Estadísticos y Geográficos Estatales (INEGI, 2014)
Superficie reforestada (SR)	SR; cantidad, ha	Anuarios Estadísticos y Geográficos Estatales (INEGI, 2014)
Áreas naturales protegidas (ANP)	$ANP = \frac{Área \text{ cob. vsg. protegida (km}^2\text{)}}{Área \text{ total (km}^2\text{)}};$ %	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2012)

Fuente: elaboración propia.

#### Paso 4. Normalización de los valores de los indicadores

Debido a que los indicadores están expresados en diferentes unidades de medida, es necesario normalizarlos, con el propósito de que todos estén expresados en valores adimensionales que oscilen en un rango entre 0 y 1. Para llevar a cabo este procedimiento, primero se identificó la relación funcional del indicador respecto a la vulnerabilidad ante la sequía. Existen dos tipos posibles de relaciones funcionales: la vulnerabilidad aumenta o disminuye con el valor del indicador. En el primer caso, la relación es directa y se identifica con el símbolo  $\uparrow$ ; en el segundo caso, la relación es inversa y se denota mediante el símbolo  $\downarrow$ . De los 24 indicadores seleccionados, todos los que pertenecen a las componentes de grado de exposición (GE) y sensibilidad (S), tienen una relación directa ( $\uparrow$ ) con la vulnerabilidad, mientras que los indicadores que representan la capacidad de adaptación (CA), tienen una relación inversa con la misma ( $\downarrow$ ). Por lo anterior, una vez identificado el impacto positivo o negativo de los indicadores sobre la vulnerabilidad, se procedió a normalizarlos mediante las fórmulas que se describen a continuación:

En el caso de los indicadores que tienen una relación funcional directa ( $\uparrow$ ), se usó la expresión:

$$X_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

Y en el caso de los indicadores con una relación funcional inversa ( $\downarrow$ ), se utilizó la siguiente fórmula:

$$X_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

Donde, en ambas ecuaciones se tiene que:  $X_i$  es el valor normalizado de los valores de la variable  $x_i$ ;  $x_{min}$  y  $x_{max}$  son los valores mínimo y máximo del conjunto de datos  $x_i$ , respectivamente.

### **Paso 5. Ponderación de los indicadores**

Una vez obtenidos los valores normalizados de los indicadores, se procedió a calcular sus pesos usando el método propuesto por Iyengar y Sudarshan (1982), mediante la siguiente expresión:

$$P_i = \frac{1}{(\sigma_i) \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i} \right)} \quad (4)$$

Donde:  $P_i$  es el peso del indicador normalizado  $i$ ;  $\sigma_i$  es la desviación estándar del conjunto de valores del indicador  $i$ ; y  $n$  es el número de indicadores seleccionados.

Este método de ponderación garantiza que grandes variaciones de uno o más indicadores, no dominen la contribución del resto de los indicadores.

### **Paso 6. Cálculo de los índices de vulnerabilidad**

Para determinar los índices de vulnerabilidad global, primero se calcularon los índices de vulnerabilidad económica, social y ambiental ( $IVE$ ,  $IVS$  e  $IVA$ , respectivamente), mediante la siguiente fórmula:

$$IVE, IVS, IVA = \sum_{i=1}^n X_i P_i \quad (5)$$

Donde:  $X_i$  es el valor normalizado del indicador  $i$ ;  $P_i$  es el peso del indicador normalizado  $i$ ;  $n$  es el número de indicadores correspondientes a cada tipo de vulnerabilidad.

Y posteriormente se calcularon los índices de vulnerabilidad global ( $IVG$ ), asumiendo un peso  $P_i$  de  $\frac{1}{3}$  para cada uno de sus componentes:

$$IVG = \frac{IVE}{3} + \frac{IVS}{3} + \frac{IVA}{3} \quad (6)$$

### **Paso 7. Ajuste de los índices a una función de distribución probabilística**

Con la finalidad de clasificar en categorías los índices de vulnerabilidad obtenidos, éstos se ajustaron a la distribución probabilística beta, siguiendo la recomendación de Iyengar y Sudarshan (1982), quienes afirman que dicha distribución es la adecuada para este propósito, dado que generalmente es sesgada y toma valores en el intervalo (0,1). La función beta tiene la densidad de probabilidad dada por:

$$f(z) = \frac{z^{a-1}(1-z)^{b-1}}{\int_0^1 z^{a-1}(1-z)^{b-1} dz}; \quad 0 < z < 1; \text{ y } a, b > 0$$

(7)

En la cual la media  $\mu$  y la varianza  $\sigma^2$  de la variable  $z$  se determinan mediante:

$$\mu = \frac{a}{a+b}$$

(8)

$$\sigma^2 = \frac{ab}{(a+b)^2(a+b+1)}$$

(9)

Al simplificar algebraicamente ambas expresiones para conocer los parámetros  $a$  y  $b$ , se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$a = \alpha = \mu \left\{ \frac{\mu(1-\mu)}{\sigma^2} - 1 \right\}$$

(10)

$$b = \beta = a \left\{ \frac{1-\mu}{\mu} \right\}$$

(11)

Así, para determinar los parámetros  $a$  ( $\alpha$ ) y  $b$  ( $\beta$ ) a partir de las ecuaciones anteriores, se utilizó la hoja de cálculo Excel®, la cual también sirvió para obtener la probabilidad de ocurrencia de los índices de vulnerabilidad ajustados a la distribución probabilística beta.

#### **Paso 8. Clasificación de los índices de vulnerabilidad**

Para clasificar los índices de vulnerabilidad ( $IV_i$ ) con base en su probabilidad de ocurrencia, primero se multiplicaron por 100 los valores de probabilidad obtenidos para expresarlos en porcentaje, y luego se agruparon en cinco categorías de percentiles de igual tamaño (de 20% cada una de ellas), de tal manera que se definieron cinco grados de vulnerabilidad, tal como se indica en el Cuadro 3.

*Cuadro 3. Categorías para clasificar el grado de vulnerabilidad ante la sequía.*

<b>Grado de vulnerabilidad</b>	<b>Valor del percentil</b>
Muy baja	$0 < IV_i \leq 20$
Baja	$20 < IV_i \leq 40$



Moderada	$40 < IV_i \leq 60$
Alta	$60 < IV_i \leq 80$
Muy alta	$80 < IV_i \leq 100$

Fuente: elaboración propia.

### Paso 9. Mapeo de los índices de vulnerabilidad

El mapeo de los índices de vulnerabilidad se realizó mediante el software ArcGis®, utilizando como mapa base el Marco Geoestadístico Municipal (INEGI, 2005), el cual permite referenciar correctamente la información estadística con los lugares geográficos correspondientes, que en este caso son los municipios que integran el organismo de cuenca.

## 3 RESULTADOS

Como ejemplo de aplicación de la metodología descrita anteriormente, se presentan los resultados obtenidos en el organismo de cuenca Noroeste. En la Figura 3 se ilustran los mapas de vulnerabilidad económica, social, ambiental y global. Como se puede observar en dichos mapas, los municipios con mayor vulnerabilidad económica (es decir, donde existe mayor densidad de población y, por ende, hay mayor actividad económica) se ubican en el estado de Sonora; entre ellos se encuentra el municipio de Hermosillo, donde se localiza la capital del estado del mismo nombre, el cual se caracteriza por tener una alta densidad de población y una intensa actividad industrial, agrícola y pecuaria. Por otro lado, los municipios con mayor vulnerabilidad social (es decir, con mayores índices de pobreza, marginación y rezago social) se ubican en el estado de Chihuahua, en las colindancias con el estado de Sonora, región donde se extiende la Sierra Madre Occidental y se caracteriza por tener un relieve abrupto que dificulta el acceso a los servicios básicos de agua potable, saneamiento, energía eléctrica, etc.



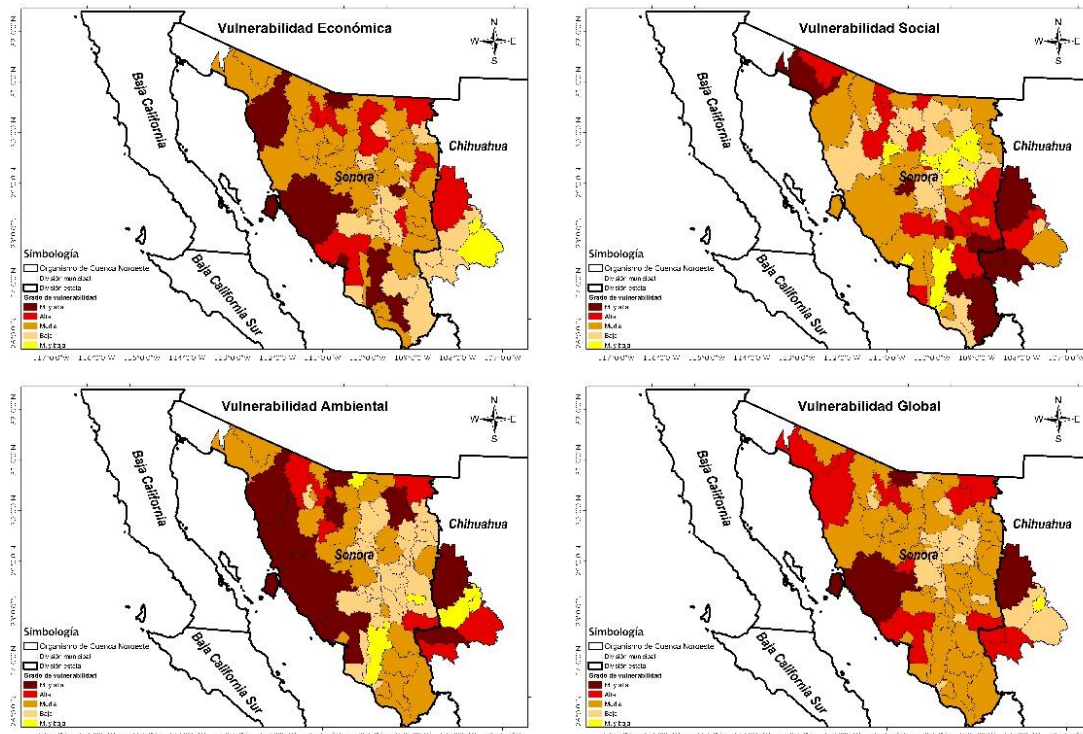


Figura 3. Mapas de vulnerabilidad económica, social, ambiental y global ante la sequía del organismo de cuenca Noroeste.

Por otra parte, los municipios con mayor vulnerabilidad ambiental, es decir, con mayor fragilidad de los ecosistemas ante la sequía, se ubican principalmente en el estado de Sonora, a lo largo de la costa del Golfo de California, y se caracterizan por tener una alta sobreexplotación de los acuíferos como consecuencia de la extracción desmedida de agua para riego, lo que ha ocasionado la intrusión de agua salina a los mantos freáticos. Finalmente, al conjuntar los tres tipos de vulnerabilidad descritos anteriormente, resulta que los municipios con mayor vulnerabilidad global son Nogales y Hermosillo, en Sonora, y Madera en Chihuahua, los cuales requieren acciones urgentes para prevenir y mitigar los posibles efectos negativos de las sequías futuras.

#### 4 CONCLUSIONES

No hay manera de evitar una sequía pero existen formas de mitigar sus impactos y reducir las pérdidas de quienes se ven afectados por el fenómeno. La mejor forma de afrontar una sequía comienza con la evaluación de la vulnerabilidad, la cual es útil para diversos propósitos, como son: establecer prioridades en la implementación de medidas de prevención y mitigación; entender dónde y cómo mejorar las capacidades de adaptación; entender dónde y cómo disminuir la exposición y la sensibilidad; optimizar la distribución de los recursos; y, de manera más general, coadyuvar a la mejora de la gestión del agua en los organismos de cuenca. La metodología propuesta en este trabajo es viable para determinar índices de vulnerabilidad ante la sequía en cada uno de los 13 organismos de cuenca de México, e inclusive puede ser aplicada a nivel estatal o nacional. La principal ventaja de la metodología es que se basa en procedimiento analítico objetivo que permite identificar las áreas más vulnerables desde los puntos de vista económico, social y ambiental, de tal manera que es factible direccionar mejor



los recursos y los esfuerzos para reducir la vulnerabilidad ante la sequía en las diversas regiones del país.

## 5 LITERATURA CITADA

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2014. *Política pública nacional para la sequía. Documento rector*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.
- Feng, S., A. B. Krueger & M. Oppenheimer. 2010. Linkages among climate change, crop yields and Mexico-US cross-border migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(32):14257-14262.
- Iyengar, N. S. & P. Sudarshan. 1982. A method of classifying regions from multivariate data. *Economic and Political Weekly*, 17(51):2048-2052.
- Kim, T., Valdés, J.B. & Aparicio, J. 2002. Frequency and spatial characteristics of droughts in the Conchos river basin, Mexico. *Water International*, 27(3):420-430.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). 2007. *Cambio climático 2007, Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. WMO/UNEP, Ginebra, Suiza.
- Postel, S. 1991. *Administración del agua en épocas de escasez*. Trad. de Virginia Ugalde. IMTA. Jiutepec, Morelos.
- Velasco, I., L. Ochoa y C. Gutiérrez. 2005. Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y Sociedad*, XVII(34):35-71.
- Wilches-Chaux, G. 1993. La vulnerabilidad global. En Maskrey, A. (Comp.), *Los desastres no son naturales*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Puerto Limón, Costa Rica. pp. 11-47.



Extenso ID: 149. Israel Velasco, David Ortega; Jesús de la Cruz, Heidy Castellano.  
VULNERABILIDAD EN LA SEQUÍA: UN ENFOQUE DE SU DIMENSIONAMIENTO  
PARA AFRONTAR EL FENÓMENO EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO, MÉXICO

[Regresar al índice](#)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. ivelascovelasco@hotmail.com

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.; dortega@tlaloc.imta.mx

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. tigresable@hotmail.com

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.; heidyviv78@hotmail.com

## RESUMEN

La región del Río Bravo en el norte de México tiene el problema del agua por su escasez y sobreexplotación para todos los usos, haciéndola especialmente vulnerable a las variaciones naturales. La severidad de la sequía está en función de la oferta/demanda de agua para las actividades humanas y la vegetación; cuando el riesgo se materializa, se produce el desastre. Dimensionar los factores que explican el riesgo, ayuda a formular programas y acciones de mitigación. El riesgo es producto de la interacción de tres factores principales: vulnerabilidad, exposición y severidad, y sólo este último es de carácter natural; los otros son antropogénicos. Sin embargo, la vulnerabilidad es un término subjetivo, porque para la misma situación, significa diferentes cosas para diferentes usuarios. Este es un detalle a resolver al formular un plan para hacer frente a la sequía. La interacción de estos factores conduce a la desagregación de los componentes de la vulnerabilidad: nivel de exposición, adaptabilidad, y sensibilidad; evaluar la vulnerabilidad puede ser desde un enfoque aditivo o multiplicativo. Este trabajo se centra en el enfoque aditivo e incluye 11 factores principales, que están relacionados con aspectos sociales, económicos y ambientales; su tratamiento conjunto puede conducir a la consideración global del problema. Puesto que la unidad geográfica de análisis de agua es la cuenca, este es también el nivel de estimación de la vulnerabilidad. La metodología se basa en definir la zona de estudio y los factores que interactúan, asumiendo información de calidad; los pasos básicos son el cálculo, análisis y procesamiento de la información; la última fase es determinar los pesos de cada uno de los factores utilizando el software *Superdecisions*®, cuidando ciertas restricciones y condiciones de la teoría de matrices. Después es necesario hacer un proceso de calibración, y uno de los resultados es un mapa de cada tipo de vulnerabilidad - ambiental, económica, social y global-, que es una forma práctica y objetiva, básica para la planificación de la mitigación del impacto de la sequía.



**PALABRAS CLAVE:** sequía, vulnerabilidad, evaluación de vulnerabilidad, riesgo y escasez de agua

## INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno climático temporal recurrente, caracterizado por una reducción en la precipitación pluvial con respecto a la considerada como normal para una zona determinada; no presenta epicentro ni trayectorias definidas sino que tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y del espacio, provocando que el agua disponible sea insuficiente para satisfacer las distintas necesidades humanas y de los ecosistemas. La sequía es considerada como uno de los fenómenos naturales más complejos y que afecta a más personas en el mundo. A diferencia de otros desastres asociados a fenómenos naturales cuyos impactos son locales y de corto plazo, las sequías abarcan grandes áreas geográficas y sus consecuencias pueden prevalecer por varios años, con un efecto negativo en la calidad de vida y en el desarrollo de las poblaciones afectadas (CENAPRED, 2007).

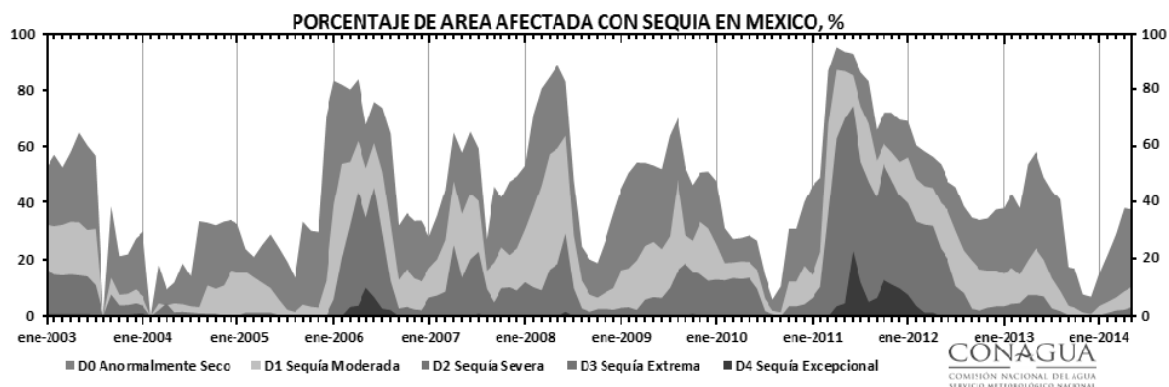


Figura 1.- Porcentaje de área afectada por sequía en México (enero de 2003 a mayo de 2014).

Las sequías de los años recientes han afectado grandes extensiones agrícolas y comunidades rurales y urbanas, y han propiciado severos desbalances en la economía regional y nacional (Figuras 1 y 2; CONAGUA, 2012). En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo proponer una manera menos subjetiva de evaluar y dimensionar la vulnerabilidad a la sequía, como un breve aporte al entendimiento y evaluación del fenómeno global, con la intención abonar al enfoque proactivo orientado hacia la *gestión del riesgo* de sequía.



Figura 2.- Regiones de México afectadas por sequía durante el mes de junio de 2011.

## VULNERABILIDAD, UNO DE LOS PARÁMETROS CLAVES DE LA SEQUÍA

Peligro, riesgo y vulnerabilidad con conceptos asociados, que en relación con la sequía, pueden concebirse según se muestra en la Figura 3 siguiente:

Con base en la metodología del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), la vulnerabilidad es una intersección de tres factores: Grado de Exposición (**Ge**), Sensibilidad (**Se**) y Capacidad de adaptación (**Ca**) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Es decir:

$$Vulnerabilidad = f(Exposición, Sensibilidad, Capacidad Adaptación) \text{ del sistema.}$$





Figura 3.- Relación intrínseca en los conceptos de vulnerabilidad, peligro y riesgo, asociados al fenómeno de la sequía.

donde, para el caso de la sequía:

- El Grado de Exposición (**Ge**), es la magnitud en que los factores climáticos afectan al sistema, y es básicamente una función de la geografía (por ej. las zonas semiáridas están más expuestas a la sequía).
- La Sensibilidad (**Se**), representará el grado en que se ve afectada una cuenca, comunidad o ecosistema por estrés climático (por ej. Una localidad que dependa de la agricultura de temporal está más sensible a la variación de los patrones de precipitación que aquella donde el comercio o minería es el principal medio de subsistencia).
- La Capacidad de Adaptación (**Ca**), se refiere a la resiliencia de la región ante condiciones de sequía, es decir, al potencial de adaptarse al estrés impuesto por las sequías.



Figura 4- Vulnerabilidad, como producto de sus factores asociados.

De la definición de los tres factores, se pueden establecer dos enfoques de cálculo de la vulnerabilidad, ya sea como una suma del *Ge* y *Se* y restarle la *Ca*; o bien, manejarlo como un cociente, donde el producto de la *Ge* y la *Se* sean los numeradores y como denominador la *Ca*. En ambos casos, al existir mayor exposición y sensibilidad y una menor capacidad de adaptación se esperaría mayor vulnerabilidad a la amenaza del peligro; caso contrario, una mayor capacidad de adaptación en comparación a los otros dos parámetros, resultará una mejor capacidad de adaptarse al estrés hídrico o mayor potencial de adaptación.

Método aditivo

$$\text{Vulnerabilidad} = Ge + Se - Ca \quad (1)$$

Método multiplicativo

$$\text{Vulnerabilidad} = \frac{(Ge \cdot Se)}{Ca} \quad (2)$$

De las dos expresiones conceptuales, solo se explora en este trabajo el método aditivo. Partiendo de que no hay una fórmula o metodología universalmente aceptada para cuantificar la vulnerabilidad de la estructura socio-económica-ambiental de una región a los eventos de sequía o déficit hídrico, existe un espacio para definir o elegir la que más conveniente o asequible, según cada caso.

## METODOLOGÍA

Para afrontar la sequía, en México se han diseñado y desarrollado los *Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía* (PMPMS; IMTA, 2013a, 2013b)), con los cuales, para cada región hidrológica, se pretende contar con una herramienta metodológica que permita actuar proactivamente cuando el fenómeno se presente. En síntesis, tal proceso se muestra en la Figura 5.

Las premisas a considerar en esta evaluación son, básicamente, las siguientes (Tabla 1):

- Considerar para el cálculo de la vulnerabilidad 11 factores, divididos en tres componentes, grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.
- Cálculo de la vulnerabilidad económica, social, ambiental y global.
- Determinar el peso de los factores usando un cálculo matemático a través de la teoría de matrices (software *Superdecisions®*).
- Considerar como unidad básica de estudio a la cuenca.

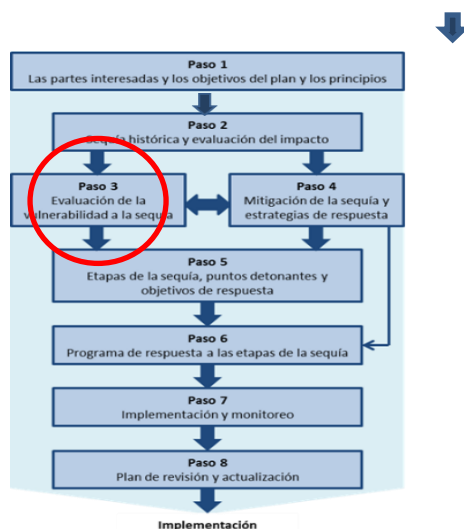


Figura 5.- Proceso de elaboración de *Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía*.

**Tabla 9.-** Factores (*f*) seleccionados para calcular la vulnerabilidad social, económica y ambiental.

Nombre	Grado de exposición	Sensibilidad	Capacidad de adaptación
Vulnerabilidad económica	f-1a	f-2a	f-3a
	f-1b	f-2b	f-3b
		f-4a	
Vulnerabilidad social	f-1a	f-6c	f-3a



Nombre	Grado de exposición	Sensibilidad	Capacidad de adaptación
	f-1b		f-3b
Vulnerabilidad ambiental	f-1a f-1b	f-5a	f-6a f-6b
Vulnerabilidad Global	f-1a f-1b	f-2a f-2b f-4a f-5a F-6c	f-3a f-3b f-6a f-6b

Factor 1a (f-1a). Grado de presión sobre el recurso hídrico (oferta/demanda)

Factor 1b (f-1b). Grado de explotación en los acuíferos

Factor 2a (f-2a). Densidad de población al año 2010 (o al último de que haya datos)

Factor 2b (f-2b). Valor de la producción del sector agrícola (riego y temporal)

Factor 3a (f-3a). Disponibilidad natural *per cápita* de aguas superficiales

Factor 3b (f-3b). Disponibilidad natural *per cápita* de aguas subterráneas

Factor 4a (f-4a). Población económicamente activa (PEA) desocupada (%)

Factor 5a (f-5a). Deforestación (% de área forestal)

Factor 6a (f-6a). Cobertura vegetal natural (% de área)

Factor 6b (f-6b). Áreas naturales protegidas (% de área)

Factor 6c (f-6c) Índice de marginación %.

**Vulnerabilidad Económica:** se formula a partir de la relación indirecta entre los niveles de ingresos y el impacto de fenómenos físicos extremos; en el caso de la sequía, provocando el aumento en el riesgo de padecer el desastre debido a la falta de financiamiento a la producción, insuficiencia de ingresos, inestabilidad laboral y la dificultad a los accesos de los servicios formales de salud, educación y recreación, entre otros.

**Vulnerabilidad Social:** surge y se fortalece ante la existencia de una deficiente organización y unión interna de la sociedad bajo riesgo, con el aumento del empobrecimiento, el desempleo y/o subempleo; limitando la capacidad de prevenir, mitigar y dar respuesta oportuna ante una situación del desastre por déficit hídrico.



**Vulnerabilidad Ambiental:** relacionada con la susceptibilidad intrínseca del medio o los recursos naturales a sufrir daños por la falta de agua: los seres humanos necesitan de ciertas condiciones ambientales mínimas para desarrollarse, y si en la naturaleza se presenta la destrucción de las reservas del ambiente, los ecosistemas resultan altamente vulnerables.

La Tabla 10 muestra los principales factores que intervienen en el cálculo de los distintos tipos de vulnerabilidad (Ortega-Gaucin, 2014) los cuales están relacionados con la gestión y el uso del agua y que se considera reflejan en mayor medida las causas de la vulnerabilidad del sector hídrico. La información, en cada caso, se obtiene de las instituciones gubernamentales que la registran.

**Tabla 10.-** Definición de los factores para evaluar la vulnerabilidad ante la sequía

<b>Factor</b>	<b>Definición</b>	<b>Fórmula</b>
Factor 1a (f-1a). Grado de presión sobre el recurso hídrico.	Se refiere al cociente entre la brecha hídrica y oferta sustentable.	$G_{presión} = \frac{Demanda - Oferta sustentable}{Oferta sustentable}$
Factor 1b (f-1b). Grado de explotación de los acuíferos	El agua subterránea se vuelve la principal fuente de suministro de agua ante un déficit hídrico.	Volúmenes expresados en $hm^3$
Factor 2a (f-2a). Densidad de población al año 2010	Es la relación entre el número de habitantes y el área de la cuenca.	$Densidad = \frac{No. Habitantes}{Área de la cuenca}$
Factor 2b (f-2b). Valor de la producción del sector agrícola (riego y temporal)	La estadística del valor obtenido de la producción cosechada es un indicador del grado de sensibilidad de la cuenca	Valor expresado en miles de pesos
Factor 3a (f-3a). Disponibilidad natural per cápita de aguas superficiales	Resulta de dividir la disponibilidad natural media total del agua superficial de la cuenca entre el número de habitantes.	Volúmenes expresados en $hm^3$





<b>Factor</b>	<b>Definición</b>	<b>Fórmula</b>
Factor 3b (f-3b). Disponibilidad natural per cápita de aguas subterráneas	Resulta de dividir la disponibilidad natural media total del agua subterránea de la cuenca entre el número de habitantes.	Volúmenes expresados en hm <sup>3</sup>
Factor 4a (f-4a). Población económicamente activa (PEA) desocupada (%)	Se refiere a la relación entre la población económicamente activa desocupada y la población económicamente activa total	$PEA_{desocupada} = \frac{PEA_{desocupada}}{PEA_{total}}, (\%)$
Factor 5a (f-5a). Deforestación (% de área forestal)	Representa las áreas deforestadas, la cual conlleva a una drástica disminución en el suministro de agua, aparte de romper el equilibrio climático.	$Deforestación = \frac{Área_{deforestada}}{ÁREA_{total}}, (\%)$
Factor 6a (f-6a). Cobertura vegetal natural (% de área)	La forma e intensidad en que se modifican la cubierta vegetal determina la persistencia de los ecosistemas y, por lo tanto, de los recursos que estos proporcionan.	$Cover. veg. nat. = \frac{Área_{cover\ veg\ nat}}{ÁREA_{total}}, (\%)$
Factor 6b (f-6b). Áreas naturales protegidas (% de área)	Representan a las áreas legalmente protegidas para salvaguardar sus valores naturales, como son las reservas de la biosfera, parques naturales, santuarios, monumentos naturales, etc.	$Áreas\ natur\ proteg = \frac{Área\ nat\ prot}{ÁREA_{total}}, (\%)$

Factor	Definición	Fórmula
Factor 6c (f-6c) Índice de marginación %.	El índice de marginación es una medida resumen de nueve indicadores socioeconómicos que permiten medir formas de la exclusión social y que son variables de rezago o déficit, siendo los tres más importantes: el porcentaje de población analfabeta, el porcentaje de población sin educación básica completa y el porcentaje de población en viviendas con piso de tierra.	Es una combinación lineal de los indicadores estandarizados

La metodología está basada en nueve pasos, donde los primeros tres consisten en definir el área de estudio y los factores a interrelacionar, así como las principales fuentes para recopilar la información; los pasos cuatro y cinco sean los medulares del cálculo y consisten en realizar el análisis y procesamiento de la información, y va desde rellenar los datos faltantes para cada uno de los factores, modularlos y concentrarlos en un cuadro base que contenga en un mismo arreglo todas las cuencas; en el caso del paso cinco, consistirá en obtener los pesos de cada uno de los factores usando el software *Superdecisions®* (SUPERDECISIONS, 2014).

Respecto al paso 6, se considera el cálculo de la vulnerabilidad usando el enfoque de sumar el grado de exposición más la sensibilidad y restarle la capacidad de adaptación. Para cada tipo de vulnerabilidad, los factores se agruparán en **Grado de Exposición**, **Sensibilidad** y **Capacidad de Adaptación**, según la Tabla anterior. Se multiplicará el valor modulado de cada factor por su peso (resultado del software *Superdecisions®*), obteniéndose así cada una de las componentes de la vulnerabilidad, como un promedio ponderado de los factores **Ge**, **Se** y **Ca**.

$$\text{Promedio ponderado} = \frac{\sum_{i=1}^n (f_i \times P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

(3)

A los valores obtenidos de cada una de las cuencas se les clasifica en muy baja, baja, media, alta y muy alta, y se representan en un SIG con tal de visualizar la distribución espacial de la misma.

Tabla 3.- Valores convencionales numéricos de la vulnerabilidad estimada

Rango	Valor mínimo	Valor máximo
-------	--------------	--------------

Muy alta	0.59001	1.000
Alta	0.29001	0.59
Media	0.15001	0.29
Baja	0.06001	0.15
Muy baja	0.000	0.06

Desde luego, la vulnerabilidad, evaluada según este criterio, no tiene una distribución lineal o proporcional, sino que es progresiva. A todos los datos (valores determinados) de cada factor y para cada cuenca se les aplicó la modulación con el objeto de homogeneizar los valores en un rango de [0,1]. La ecuación utilizada para modular los datos por factores en un rango entre [0,1] es:

$$Modulación = \frac{(factor_i) - Min_{matriz}}{Máx_{matriz} - Min_{matriz}}$$

(4)

Después de estimar y normalizar los valores de los factores propuestos, se calcularon los pesos de cada factor usando el software *Superdecisions®* (Figura 6).

Para cada cuenca que integra a la región hidrológica, se multiplica el valor modulado del dato de cada factor por su peso (resultado del software *Superdecisions®*); obteniendo como un promedio ponderado cada una de las componentes (*Ge*, *Se* y *Ca*), según la vulnerabilidad en cuestión. Es así como el valor de la Vulnerabilidad para cada cuenca queda determinado con la siguiente expresión:

$$Vulnerabilidad = Ge + Se - Ca$$

(5)

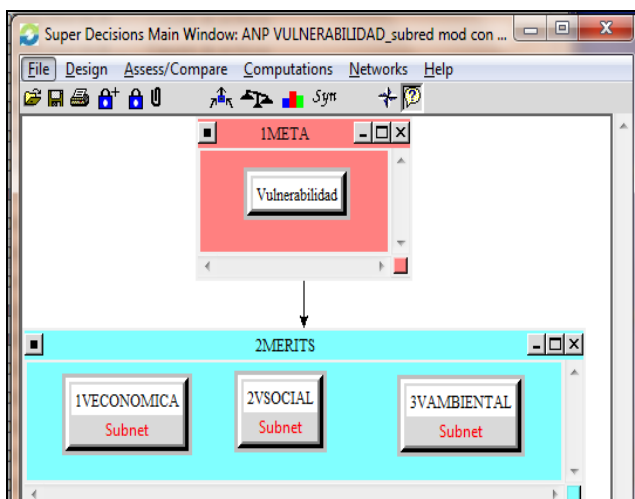


Figura 6.- Modelo conceptual parcial de la evaluación de la vulnerabilidad mediante Superdecisions®

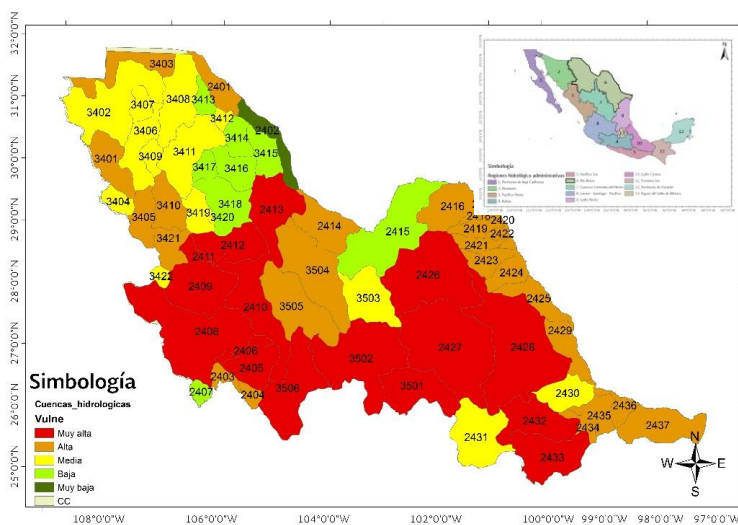
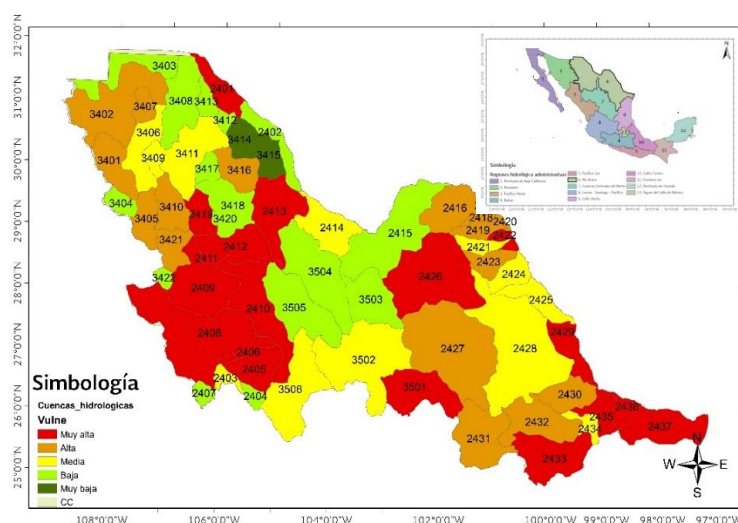


Figura 7.- Vulnerabilidad ambiental por cuenca, en la región hidrológica del Río Bravo.

## RESULTADOS

Con estas ideas y criterios, y con la información base para cada cuenca, es entonces posible obtener un valor numérico de la vulnerabilidad, desde los enfoques ambiental, social y económico, y como agregación o combinación de estos, la vulnerabilidad global. Los resultados son numéricos, pero para mejor apreciación y objetividad espacial, esos valores se representan en la cuenca respectiva y en el mapa de la región hidrológica se muestran en las figuras siguientes (los números mostrados en cada cuenca corresponden a la identificación de la misma, según los criterios, nomenclatura y metodologías de la Comisión Nacional del Agua)

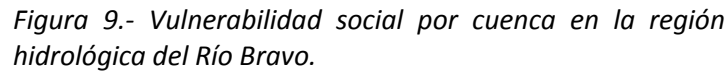
A pesar de que la región hidrológica es en general, árida y semiárida, sus características geográficas, fisiográficas y socio demográficas hacen que no sea homogénea; igualmente, los recursos hídricos tampoco están regularmente distribuidos en su geografía. Por estas razones, los resultados de la vulnerabilidad según lo aquí expuesto, son indicativos de estas diferencias; ello implica que hay subregiones o cuencas que son más susceptibles a la sequía y por tanto más vulnerables en alguno o varias de sus facetas.



*Figura 8.- Vulnerabilidad económica por cuenca, en la región hidrológica del Río Bravo.*

Cabe mencionar que los resultados numéricos de este análisis, deben conciliarse, ajustarse y ponerse en un contexto más realista, con la participación del personal operativo del agua de la propia región, quienes, como los mejores conocedores de la realidad, son los más indicados para calificar y evaluar los resultados del análisis, y por ende, su opinión y criterio para obtener los valores finales de la vulnerabilidad son indispensables.





## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Versiones y avances posteriores podrían enfocarse en la evaluación, además de por cuenca, por municipio y estado, dado que las políticas públicas y recursos para atender el fenómeno se asignan y ejercen en estas instancias geopolíticas y administrativas.

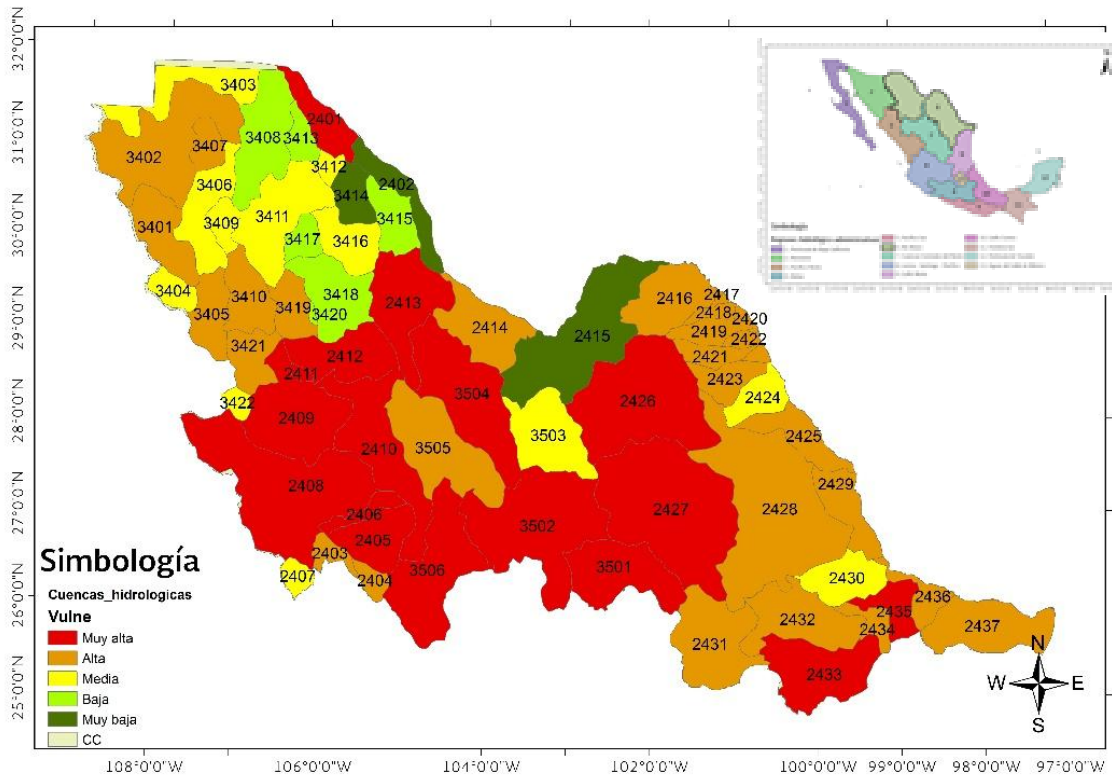


Figura 10.- Vulnerabilidad global por cuenca en la región hidrológica del Río Bravo.

## REFERENCIAS

- **CENAPRED** (Centro Nacional de Prevención de Desastres). (2007). Fascículo Sequías. Secretaría de Gobernación. México, D.F. 36 pp.
- **CONAGUA** (Comisión Nacional del Agua). (2012). Análisis espacial de las regiones más vulnerables ante las sequías en México. SEMARNAT. México, D.F. 43 pp.
- **IMTA** (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2013a). Programas para la prevención y mitigación de sequías (documento de soporte teórico). SEMARNAT. Jiutepec, Morelos. 61 pp.
- **IMTA** (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2013b). Guía para la formulación de programas de prevención y mitigación de sequías. SEMARNAT. Jiutepec, Morelos. 58 pp.



**IV** CONGRESO  
NACIONAL

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

**2016**  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

- **IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). Summary for policymakers. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. and New York, NY, USA.
- **Ortega-Gaucin, D.** (2012). Sequía en Nuevo León: vulnerabilidad, impactos y estrategias de mitigación. Instituto del Agua del Estado de Nuevo León. Apodaca, N.L. 222 pp.
- **Superdecisions®.** (2014). <http://www.superdecisions.com/>



Extenso ID: 295. Turrén-Cruz, Thalía<sup>1</sup>, Benegas, L<sup>1</sup>, Gutierrez, I<sup>1</sup>, Ramirez, A<sup>2</sup>, Brenes, C<sup>1</sup>.  
EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ANTE EVENTOS CLIMÁTICOS EN EL MARCO DE LOS CAPITALES DE LA COMUNIDAD, EN BAJA CALIFORNIA SUR; MÉXICO

[Regresar al índice](#)

<sup>1</sup>Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE.

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey

\*Turrén-Cruz, Thalía. E-mail: [Thalia.turren@catie.ac.cr](mailto:Thalia.turren@catie.ac.cr)

## RESUMEN:

Se presenta una propuesta de evaluación de la vulnerabilidad ante la escasez de agua y sequía en la ciudad de La Paz (BCS). Se utilizó el marco de capitales de la comunidad (MCC) para estimar índices de vulnerabilidad<sup>19</sup> de forma integral. La vulnerabilidad es analizada como un sistema integrado por 7 sub-sistemas: humano<sup>20</sup>, social<sup>21</sup>, político<sup>22</sup>, financiero<sup>23</sup>, físico<sup>24</sup>, natural<sup>25</sup> y cultural<sup>26</sup>, los cuales se combinan con un índice de aridez que permite incorporar el componente climático. La vulnerabilidad integral así obtenida, finalmente se representó espacialmente en la zona de estudio. La Paz presenta una vulnerabilidad media, es necesario fortalecer las capacidades de la comunidad priorizando el trabajo comunidad-gobierno, no solo para hacer frente a este tipo de eventos sino para mejorar también la calidad de vida de las personas.

**Palabras clave:** Sequía, marco de capitales, vulnerabilidad, índices.

## ABSTRACT:

A proposal for vulnerability evaluation due to water scarcity and drought in the city of La Paz (BCS) is presented. The community capitals framework is used to estimate indexes of integral

<sup>19</sup> Basado en definiciones del IPCC 2001; Wilches-Chaux 1993; PNUD 2004; Umaña, C. 1998 y Aguilar 2007, los componentes de la vulnerabilidad son: Exposición (índice climático), sensibilidad y capacidad adaptativa (Vulnerabilidad global basada en el MCC).

<sup>20</sup> Es las capacidades y potencial de los individuos determinado por la intersección entre la naturaleza (genética) y la crianza (interacción social y el medio ambiente); educación, habilidades, salud y autoestima

<sup>21</sup> Incluye confianza mutua, reciprocidad, grupos, identidad colectiva, trabajo en equipo y el sentido de un futuro compartido.

<sup>22</sup> Es la habilidad de una comunidad o grupo de convertir sus normas y valores en estándares, que después son traducidos en reglas y regulaciones que determinan la distribución de los recursos.

<sup>23</sup> Incluye ahorros, ingresos, prestamos, créditos, regalos y filantropía, impuestos, y exención de impuestos.

<sup>24</sup> Es infraestructura construida por el humano, incluye tecnologías de la información, puentes, caminos, ferrocarriles, oleoductos, fabricas, guarderías, parques eólicos.

<sup>25</sup> Incluye el aire, agua, suelo, fauna silvestre, vegetación, paisaje y el clima que nos rodea y provee posibilidades y límites a la sostenibilidad de la comunidad, este influye y es influenciado por las actividades humanas y forma la base de todos los otros capitales.

<sup>26</sup> Determina la visión de un grupo, cómo ve el mundo, como lo invisible está conectado a los visible, que se da por sentido, que es valorado, y que piensa un grupo que es posible cambiar.



vulnerability. Vulnerability is analyzed as a system integrated by 7 sub-systems: human, social, political, financial, physical, natural and cultural, this are combined with an aridity index that allows to incorporate a climate component. The integral vulnerability obtained, finally is spatially represented in the city of La Paz, it's represents a médium vulnerability, is required to strengthen community capacities prioritizing community-government work, not just to face this events but also to improve community's quality of life.

**Key words:** Drought, capital framework, vulnerability, index.

## INTRODUCCIÓN

La región donde se ubica la ciudad de La Paz, es una de las más áridas y secas de México, lo que ha desencadenado problemas de disponibilidad de agua sobre todo superficial, que con el paso de los años se han agravado (Fonseca y Ramírez 2014). El agua subterránea cuya extracción es creciente debido al incremento de la población, es un recurso de suma importancia en La Paz siendo su principal fuente de abastecimiento; debido principalmente a la escasa precipitación dada por su ubicación geográfica, lo que además ha limitado el aprovechamiento del agua superficial (Escolero y Torres-Onofre 2007). En diversos estudios (Montalvo 2010, SAPA 2010, 2013; CNA 2002, CONAGUA y UNAM 2010) recopilados por Fonseca y Ramírez (2014), se manifiesta que en el agua del acuífero La Paz, se encuentran ciertos niveles de salinidad sobre todo en las aguas más cercanas a la superficie (10 y 15 metros de profundidad), lo que impacta su calidad. Los niveles de agua contenidas en el acuífero presentan un desbalance ya que se extrae más agua de la que se recarga. Aunado a esto, las cifras dadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) evidencian que se evapora más agua de la que llueve y debido a la sobreexplotación del acuífero este también presenta contaminación, así como también, existe poca ocurrencia de flujos superficiales en la zona. Durante la época de ciclones se recibe una cantidad importante de precipitación; sin embargo, los volúmenes de lluvia no son aprovechados para resolver los problemas de disponibilidad de agua que presenta la región debido a la falta de infraestructura para su aprovechamiento y como consecuencia los eventos extraordinarios de lluvia y escurrimiento causan daños severos (Salas y Jiménez 2013; Fonseca y Ramírez 2014). Actualmente, el gobierno municipal ha gestionado algunas iniciativas en las cuales se encuentran tres convenios realizados con la CONAGUA: la construcción de infraestructura necesaria como una planta de tratamiento de aguas residuales, un acueducto y una planta desalinizadora (SEGOB2013). El objetivo de este artículo es analizar y comprender la distribución de la vulnerabilidad en su forma integral en La Paz, debida esencialmente a eventos como la sequía y la escasez de agua. Este análisis se basó en el marco de capitales de la comunidad (MCC). Nuestra hipótesis es que existe una vulnerabilidad integral diferenciada según la ubicación de las diferentes zonas de La Paz y que puede ser explicada por los diferentes niveles de percepción sobre los capitales de la comunidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La ciudad de La Paz se encuentra en el Estado de Baja California Sur, cuenta con una extensión territorial de 20.274 km<sup>2</sup> (20,76% del territorio estatal), se encuentra ubicado entre las coordenadas 23°6'45" y 25°5'2" latitud norte y los 111°41'52" y 109°41'44" longitud oeste, cuenta con una población de 251.593 habitantes distribuidos en 1.044 localidades, de los cuales el 50,2% son hombres y el 49,8% son mujeres, además del 100% de la población de acuerdo al INEGI (2011) el 86% es urbana y el 14% restante es rural. En cuanto a las actividades



económicas encontramos agricultura, ganadería, minería, construcción, hoteles, restaurantes, entre otros. De acuerdo con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2011), predomina el clima Muy seco (92%); Se encuentra también clima Seco y semi-seco (7%) y Templado subhúmedo (1 %). La temperatura media anual es 18 a 22°C. La temperatura promedio más alta, de 35°C, se presenta en los meses de julio y agosto, la más baja es de 9°C y se registra en enero. Las lluvias son muy escasas y se presentan durante el verano, la precipitación total anual promedio en el estado es menor a 200 mm. Debido a la escasa precipitación la poca actividad agrícola que se practica es de riego y se cultiva: algodón, trigo, alfalfa verde, frijol, jitomate, cártamo, chile verde y papa. (INEGI2011).

### **Definición de indicadores**

La selección de indicadores para la evaluación de la vulnerabilidad se basó en las metodologías “Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de los pobladores rurales de la planicie costera central de El Salvador” de Aguilar (2007), “Vulnerabilidad global” de Wilches-Chaux (1993), enfoque de vulnerabilidad integral estudiado por Lampis (2013) y el Marco de Capitales de la Comunidad (MCC) aplicado en México por Gutiérrez-Montes *et al.* (2014). Se definieron 42 indicadores en total, divididos en siete secciones (marco de capitales): Humano, social, político, financiero, físico, natural y cultural. Cada indicador se compone a su vez de variables que ayudan a definir el diseño de la encuesta para la recolección de datos en campo (Tabla 11).

*Tabla 11.- Número de indicadores por capital*

<b>Capital/Vulnerabilidad</b>	<b>Indicadores</b>
1. Humana	9 indicadores
2. Social	5 indicadores
3. Política	6 indicadores
4. Financiera	6 indicadores
5. Física	4 indicadores
6. Natural	7 indicadores
7. Cultural	5 indicadores

Además, se realizó una encuesta en línea a 10 actores clave pertenecientes a diversas asociaciones civiles, utilizando la herramienta SurveyMonkey, con el fin de obtener las ponderaciones de importancia para los indicadores. Una vez definidas las variables se procedió a diseñar el protocolo de encuesta para su aplicación en campo.

### **Protocolo para las encuestas**

El protocolo consistió en la presentación de la investigación, el consentimiento informado, una serie de 60 preguntas y los datos de contacto del investigador (Sibelet *et al.* 2013). Las preguntas de la encuesta siguen un orden lógico con la intención de responder a cada una de las variables necesarias para la investigación, hay por lo menos una pregunta que ayuda a obtener información sobre cada variable de interés.

### **Selección de la muestra y recopilación de información en campo**



La aplicación de las encuestas se realizó durante dos semanas, en la zona urbana de la ciudad de La Paz y en la localidad denominada Centenario. El tamaño de la muestra se definió en función del número total de AGEBS (Área Geoestadística Básica) proporcionadas por el (INEGI 2010a); para determinar el tamaño de la muestra se aplicó la fórmula de Murray y Larry (2005):

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{i^2(N-1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Arrojando un resultado de 64 encuestas. Con el fin de facilitar la recopilación de información en campo y sistematizar su análisis, se utilizó la aplicación Epicollect + (BETA) instalada en un teléfono Android, permitiendo cargar la información a la “nube”, para su posterior procesamiento.

#### Procesamiento de información: Cálculo de índices.

Los datos recolectados se procesaron en Excel, para poder hacer el cálculo de los índices en el software InfoStat versión 2008. Se construyó el índice vulnerabilidad global (**IVG**), compuesto por el índice de vulnerabilidad humana (**IVH**), vulnerabilidad social (**IVS**), vulnerabilidad política (**IVP**), vulnerabilidad financiera (**IVFN**), vulnerabilidad física (**IVFS**), vulnerabilidad natural (**IVN**) y vulnerabilidad cultural (**IVC**). Primeramente, se definieron una serie de rangos para determinar los niveles de vulnerabilidad según: Alta (1), media (0.5) y baja (0), y las ponderaciones que son resultado de las encuestas en línea (Tabla 12).

Tabla 12.- Ponderaciones por indicador

Vulnerabilidad	Indicador	Ponderación <sup>27</sup>
<b>Humana</b>  <b>(IVH)</b>	1. Población con servicio de agua	3
	2. Densidad poblacional (No. De habitantes por casa)	2
	3. Enfermedades asociadas al consumo de agua	3
	4. Enfermedades asociadas a la sequía	3
	5. Enfermedades asociadas a la escasez de agua	3
	6. Conocimiento sobre acciones frente a un evento climático	2
	7. Migración	2
	8. Inmigración	2
	9. Asistencia a capacitación sobre eventos climáticos	2
	<b>Total</b>	<b>22</b>

<sup>27</sup> Importancia baja: 1 importancia media: 2 importancia alta: 3 (Las respuestas de los actores clave oscilaron siempre entre 2 y 3, por lo cual el valor (1) de importancia baja no se observa en la tabla).



<b>Social</b> <b>(IVS)</b>	10. Pertenencia a organizaciones de la comunidad	2
	11. Existencia de organizaciones en la comunidad	2
	12. Percepción sobre el nivel de organización en la comunidad	3
	13. Existencia de redes de apoyo en la comunidad	3
	14. Participación en la formulación de planes	3
	<b>Total</b>	<b>13</b>
<b>Política</b> <b>(IVP)</b>	15. Gestión de las autoridades locales	3
	16. Respuesta del gobierno (Local)	3
	17. Presencia de instituciones a nivel local	3
	18. Capacidad de reacción de protección civil u otro tipo de apoyo	2
	19. Regulación del agua	3
	20. Comité de cuencas	3
	<b>Total</b>	<b>17</b>
<b>Financiera</b> <b>(IVFN)</b>	21. Acceso a programas de gobierno	3
	22. Acceso a remesas	2
	23. Acceso a crédito	3
	24. Cambio de ingresos por evento climático	3
	25. Costo del servicio	3
	26. Costo por falta de agua	3
	<b>Total</b>	<b>17</b>
<b>Física</b> <b>(IVFS)</b>	27. Disponibilidad del servicio	3
	28. Infraestructura usada en caso de evento climático (albergues)	3
	29. Infraestructura afectada en caso de evento climático	3
	30. Fuentes de abastecimiento	3
	<b>Total</b>	<b>12</b>
<b>Natural</b> <b>(IVN)</b>	31. Percepción de la vulnerabilidad del suelo	3
	32. Percepción de la vulnerabilidad del agua	3



	33. Percepción de la vulnerabilidad de la vegetación	3
	34. Percepción de la vulnerabilidad de los animales	3
	35. Percepción de cambios en el clima	2
	36. Contaminación del agua	3
	37. Recurrencia de eventos climáticos	3
	<b>Total</b>	<b>20</b>
<b>Cultural (IVC)</b>	38. Comunicación ante un evento climático	3
	39. Usos del agua	3
	40. Re-uso del agua	3
	41. Recurrencia a autoridades por falta de agua	2
	42. Cambios en la forma de vida	3
	<b>Total</b>	<b>14</b>

Posteriormente, se calculó el índice por cada tipo de vulnerabilidad, para ello fue necesario homogenizar las variables que conforman cada capital en dicotómicas o categorizadas, que van siempre de 0 a 1, siendo cero la vulnerabilidad más baja y uno la más alta. Una vez homogenizadas, se multiplicaron por sus respectivas ponderaciones y se re-escalaron los valores totales para llevarlos de nuevo a valores entre 0 y 1; después, se sumaron los valores de los indicadores para cada capital y se calcularon los valores de cada índice, este resultado se re-escaló (Tabla 13) para llevar nuevamente a valores entre 0 y 1; obteniendo así el valor del índice para cada tipo de vulnerabilidad.

*Tabla 13.-Re-escala por tipo de vulnerabilidad*

Índice	Número de indicadores	Valor máximo posible	Re-escala
1. Humano	9 indicadores	De 0 a 9	De 0 a 1
2. Social	5 indicadores	De 0 a 5	
3. Político	6 indicadores	De 0 a 6	
4. Financiero	6 indicadores	De 0 a 6	
5. Físico	4 indicadores	De 0 a 4	
6. Natural	7 indicadores	De 0 a 7	
7. Cultural	5 indicadores	De 0 a 5	

Para la obtención del índice global, se realizó el mismo procedimiento sumando los siete valores de los índices, uno por cada tipo de vulnerabilidad y se re-escalo sus valores de 0 a 7 a valores entre 0 y 1. Para obtener un solo valor por cada índice se sumaron los valores de cada una de las 64 respuestas, las cuales se moverían en un rango de 0 a 64, con esto se genera un

rango de vulnerabilidad comparable de forma general: Baja (0 a 21), Media (22 a 43) y Alta (43 a 64). Una vez obtenido el índice de vulnerabilidad global y con el fin de tomar en cuenta el componente climático como factor incidente en la vulnerabilidad integral, se calculó un índice de aridez, en este caso el índice de Martonne (Mercado Mancera *et al.* 2010; Troyo Diéguez *et al.* 2015) (Tabla 14), tomando en cuenta valores de precipitación y temperatura.

Tabla 14.- Índice de aridez de Martonne

<b>Índice de Martonne (1926)</b>	
Clasificación IM	intervalo
Desierto (Híper-árido)	0 a 5
Semi-desierto (árido)	5 a 10
Semiárido de tipo mediterráneo	10 a 20
Subhúmeda	20 a 30
Húmeda	30 a 60
Per-húmeda	>60

Para la obtención del índice de aridez se descargaron Grids con datos de precipitación y temperatura de la página WorldClim<sup>28</sup> de los años 1950 al 2000, los Grids de procesaron en ArcGIS versión 10.2 mediante la herramienta extraction-multipoint- para obtener valores de Pp y T correspondiente a cada punto encuestado.

$$A = \frac{Pp * 12}{T + 10} \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Los resultados del índice de Martonne se re-escalaron, en esta caso reversando el código de la escala de 0 a 1 (Tabla 15), para su posterior multiplicación con el valor del índice global, re-escalarlo nuevamente y así obtener el índice de vulnerabilidad integral (Aguilar 2007).

Tabla 15.-Re-clasificación índice de Martonne

<b>Re-clasificación índice de Martonne</b>	
Clasificación IM	Valor re-escalado
Desierto (Híper-árido)	1
Semi-desierto (árido)	0.8

<sup>28</sup> <http://www.worldclimate.com/>



Semiárido de tipo mediterráneo	0.6
Subhúmeda	0.4
Húmeda	0.2
Per-húmeda	0

Una vez obtenido el índice de aridez, que representa al componente climático, se aplicó la siguiente fórmula para obtener el índice de vulnerabilidad integral:

$$IVI = IVG * IAM \dots \text{Ecuación 3}$$

### Mapas de vulnerabilidad

Para hacer uso correcto de los datos calculados para cada índice se hizo una estandarización de los mismos con la transformación raíz del Arco-Seno en InfoStat (Balzarini *et al.* 2008), esta transformación permite que las varianzas sean constantes en toda el área de estudio y que los datos se distribuyan normalmente (ESRI 2014).

$$\text{ArcoSeno}(\text{Raiz}(p)) \dots \text{Ecuación 4}$$

En ArcGis versión 10.2 se procesó la capa de datos de la transformación, mediante la herramienta de interpolación Inverse Distance Weighted (IDW), de esto resultó un archivo en formato ráster al que posteriormente se le aplica el inverso de la transformación de arco-seno:

$$\text{Sen}^{-1}(\sqrt{p}) \dots \text{Ecuación 5}$$

Obteniendo así los mapas de distribución de los valores asociados a los diferentes tipos de vulnerabilidad en la zona de estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La vulnerabilidad de toda la zona de estudio es media, los valores de vulnerabilidad más altos se presentan para las vulnerabilidades humana y social con 49.48 y 43.33, respectivamente. Las vulnerabilidades política, financiera, natural y cultural cuentan con valores medios de vulnerabilidad 39.50, 38.51, 41.38 y 39.29, respectivamente. Para la vulnerabilidad física se obtuvo un valor de 24.11 siendo el más bajo de los valores obtenidos, pero aun encontrándose en un rango de vulnerabilidad media. Los índices global e integral cuentan con un valor de 34.96, lo que nos indica además de una vulnerabilidad media, que la vulnerabilidad global de la zona no es significativamente afectada por el índice climático calculado; los valores de vulnerabilidad pueden llegar a aumentar, lo que claramente indicaría un aumento de vulnerabilidad en la zona de estudio. En la Tabla 16 se observan los valores obtenidos para cada índice de vulnerabilidad en la zona de estudio.

Tabla 16.- Resultado de índices de vulnerabilidad

Índice	Valor del índice	Nivel de vulnerabilidad
1. Humano	49.48	Alta
2. Social	43.33	Alta
3. Político	39.50	Media
4. Financiero	38.51	Media
5. Físico	24.11	Media
6. Natural	41.38	Media
7. Cultural	39.29	Media
8. Global	34.96	Media
9. Integral	34.96	Media

La principal diferencia entre esta metodología y otras implementadas para el análisis de vulnerabilidad, radica en que en algunos casos se utilizan promedios ponderados para el cálculo de vulnerabilidad (Ríos *et al.* 2011), mientras que en la presente propuesta se realizó una suma ponderada, para evitar sesgo en los datos. En otras investigaciones el análisis de vulnerabilidad está enfocado a elementos individuales de carácter social, físico o ambiental, analizándolos por separado (Soares y Gutierrez-Montes 2011; Álvarez 2014); y esta investigación analiza la vulnerabilidad como un sistema integrado por 7 sub-sistemas: humano, social, político, financiero, físico, natural y cultural (Gutierrez-Montes *et al.* 2014). Este marco además se ha aplicado en Estados Unidos de América, y Uganda para reducir la obesidad en niños y el aprovechamiento de capitales de la comunidad para la mejora de los medios de vida (Butler Flora y Harris Gillespie 2009; Sseguya *et al.* 2009). La vulnerabilidad debe ser medida de forma integral de forma que se analicen todos los sectores/grupos/elementos que se conecten al objeto de estudio. El índice de vulnerabilidad **humana** es alto; a pesar que el 95% de las personas cuentan con servicio de agua, que en el 89% de los casos el número de habitantes por casa oscila de 2 a 5, y el porcentaje de enfermedades asociadas a la sequía y escasez de agua es de un 6%. No obstante, la alta vulnerabilidad estaría determinada por la baja asistencia actividades de capacitación sobre temas relacionas con eventos climáticos extremos. El 88% no asiste debido a falta de tiempo, porque no se enteran o simplemente no están interesados y el 12% de los encuestados que asiste a las capacitaciones indican que estan abordan el ahorrar agua, lo que implica la necesidad de capacitaciones con cierta periodicidad cubriendo más temas, como el re-uso del agua, qué hacer en caso de huracanes o tormentas, como afrontar los efectos de la sequía y la escasez de agua, además de aprovechar estos espacios para crear un canal de flujo de información, conocer las necesidades de la población y diseñar planes de acción para dar soluciones. Cruz Falcón *et al.* (2009) sugiere entre otras cosas implementar programas sobre la cultura del agua y un plan de manejo específicamente para el agua, ya que este recurso no es valorado. Se observa la distribución de la vulnerabilidad humana en la Figura 23, donde se percibe mayormente vulnerabilidad media (amarillo) pudiendo incrementar a vulnerabilidad alta (rojo), expandiéndose hacia las zonas de la periferia de la ciudad, siendo estas las más vulnerables. El índice de vulnerabilidad **social** es alto; relacionado a la baja presencia de organizaciones en la comunidad (5%). Estas organizaciones son comités locales que gestionan proyectos en base a necesidades inmediatas. Otros factores que influyen en la alta vulnerabilidad social son la escasez de redes locales de apoyo (19%) y poca credibilidad hacia



estas ya que, según los encuestados, estos “buscan su propio beneficio”; asimismo la baja participación de la comunidad en la formulación de planes de acción. Ante esta situación se acentúa la necesidad de fortalecer las redes comunicación entre la población y el gobierno local mediante los jefes de colonia y generar lazos de confianza para trabajar mejor. Se observa en la Figura 24 la distribución de la vulnerabilidad social presente en casi toda la zona de estudio, sobre todo en las zonas periféricas. El índice de vulnerabilidad **política** es medio pudiendo incrementar, se observa una buena gestión de las autoridades en cuanto a comunicación en caso de emergencias, en medios como la radio, televisión, perifoneo local, además de la ayuda otorgada por los soldados y protección civil. La respuesta del gobierno local según la población va de regular a buena, argumentando “hacen lo que pueden, intentan resolver los problemas” y que las carencias se dan quizá por la “estructura deficiente” del sistema gubernamental. Sobre la regulación del agua el organismo operador del sistema de agua potable, alcantarillado y saneamiento de La Paz (OOMSAPAS) es el principal encargado de distribuir, medir y hacer el cobro del servicio, y en los casos donde la infraestructura es insuficiente, ineficiente o inexistente, éste se encarga de hacer la distribución gratuita mediante pipas, empero, esto no asegura la disponibilidad ya que no hay un sistema controlado que haga distribuciones con cierta frecuencia, si no que el agua se distribuye cada vez que alguien lo solicita o cada vez que pueden. En algunos lugares se han instalado medidores (Cruz Falcón *et al.* 2009) y de acuerdo a la percepción de la población esto parece no estar funcionando por deficiencias estructurales. La población desconoce si hay un comité de cuencas al que puedan acudir para solicitar información o para otro tipo de actividades, los que “saben” que hay un comité desconocen que actividades realiza. Por lo tanto, sería de gran ayuda organizar un programa de frecuencia de entrega de pipas a las zonas necesitadas y dar a conocer las organizaciones o instituciones a las que se puede acudir y para que asuntos, esto se puede hacer en los espacios de capacitación antes referidos. Por otro lado Cruz Falcón y Troyo Diéguez (2010a) proponen la creación de un instituto del agua para identificar los problemas de abasto de agua y buscar soluciones, realizar investigaciones, gestionar recursos hídricos y la formación capacitación de recursos humanos. Se observa en la Figura 25, la distribución de la vulnerabilidad política, en su mayoría media, siendo las zonas periféricas en su mayoría las que presentan alta vulnerabilidad. El índice de vulnerabilidad **financiera** es medio pudiendo incrementar; el 81% de las personas encuestadas cuentan con algún tipo de apoyo económico por parte del gobierno (prospera, sin hambre y pensiones), el uso de estos apoyos se da principalmente para solventar gastos alimenticios y servicios del hogar; no hay ingresos por remesas; el 42% tiene acceso y cuenta con algún tipo de crédito con bancos o tiendas departamentales, cuyo objetivo es cubrir necesidades básicas del hogar o deudas; el 67% de los casos ha sufrido afectación económica por algún evento climático, ya sea por daño a viviendas, sobrellevar la falta de trabajo, cubrir necesidades básicas como la falta de agua y alimentos, además el 75% tiene gastos extras generados por la falta de agua, estos van de 100 a 400 pesos, una o dos veces por mes, derivado de la compra de pipas o garrafones de agua. Esta situación sustenta la necesidad de monitorear los programas de gobierno para asegurar que los recursos se usen de acuerdo al objetivo del mismo, generar más facilidades para el acceso a créditos, sobre todo a personas de bajos recursos. La disminución de la falta de agua reducirá gastos y permitirá a las familias usar ese recurso económico en otras necesidades fundamentales<sup>29</sup>. Se observa en la Figura 26, la distribución de la vulnerabilidad financiera, en su mayoría media, indicando una creciente vulnerabilidad en toda la zona. El índice de vulnerabilidad **física** es media-baja; la mayoría de los encuestados (73%) disponen de agua tres días a la semana; las infraestructuras usadas en caso de eventos climáticos son en su mayoría albergues ubicados en escuelas (primarias, secundarias, preparatorias y universidades),

<sup>29</sup> **Básicas:** Alimentación, salud, resguardo, reproducción y seguridad. **De la persona:** Afecto, conocimiento, identidad, autoestima y responsabilidad. **De entorno:** Ambiente saludable y libertad. **De acción:** Trabajo creativo y productivo, recreación, participación y comunicación (Imbach 2012)



además de iglesias y algunos gimnasios, la población se entera de la existencia y ubicación de los mismos por diversos medios de comunicación y saben a cuál asistir en caso de emergencia; en el 59% de los casos no se registra daño de infraestructura asociada a eventos climáticos; y en los casos de daño la mayoría son menores y dados por el tipo de material de la infraestructura (madera, lamina, cristal) y por mala construcción; el 100% de las fuentes de abastecimiento de agua son proporcionadas por el SAPA en la mayoría de los casos por tomas domiciliarias y en menor cantidad mediante pipas. Esto revela la necesidad de dar seguimiento a programas que dan apoyo de material para construcción a las personas con bajos recursos para mejorar la calidad de sus viviendas y sobrellevar los impactos de eventos climáticos. Se observa en la Figura 27, la distribución de la vulnerabilidad física en su mayoría baja, indicando una creciente vulnerabilidad en toda la zona. El índice de vulnerabilidad **natural** es medio pudiendo incrementar; la población en general ha percibido cambios en el suelo, agua y vegetación, que van desde baja fertilidad, sequedad y escasez; por otro lado, en el caso de los animales, los cambios han sido focalizados sobre todo en las zonas de la periferia donde hay actividades ganaderas, como lo confirma un encuestado “las vacas se enflacan y mueren, ya no hay pastura buena” y en algunos casos específicos de pesca con la desaparición de la “almeja Catarina”; también se han percibido cambios en el clima, sobre todo el aumento de temperatura, algunas personas lo expresan como “el clima está loco, cuando debería hacer frío hace calor y al revés”; de acuerdo a la percepción de la población los eventos climáticos más comunes son la escasez de agua y sequía, las cuales se padecen cada año y los huracanes que no tienen una recurrencia establecida. Se observa en la Figura 28, la distribución de la vulnerabilidad media, mostrando una creciente vulnerabilidad en toda la zona. El índice de vulnerabilidad **cultural** es medio pudiendo incrementar. Se observó que en caso de emergencias hay buenas redes de comunicación, los medios usados antes, durante y después de una emergencia por evento climático, son la radio, televisión e internet, sobre todo a través de medios locales como las estaciones de radio HZ y 100.7 FM. En el caso de la televisión se usan dos canales locales (8 y 10), y los canales nacionales (Televisa y Tv Azteca,) se usa en su mayoría Facebook y Google para buscar noticias. El uso del agua este es mayormente doméstico en actividades como lavar (ropa y trastes), aseo del hogar y aseo personal; en cuanto a la cultura del re-uso de agua esta es muy baja (13%) y sólo en las zonas más pobres y con alta escasez del recurso, en el 77% de los casos, sobre todo en las zonas céntricas, el agua no se re-usa; quien la re-usa lo hace para regar las plantas, lavar el patio y el sanitario; cuando falta el agua el 92% de los casos no recurre a las autoridades sino a vecinos, familiares o no hacen nada y esperan. El 34% de los casos ha sufrido cambios en su forma de vida como: daños a sus bienes materiales (casa), pérdida de trabajo, mejoras de la casa como construcción de cisternas o compra de tinacos. Se identifica la necesidad de incentivar la actividad de re-uso del agua, sobre todo en las zonas céntricas de la ciudad, en este aspecto se ha propuesto (Cruz Falcón y Troyo Diéguez 2010a) diseñar estrategias para captación de lluvia en los techos de casas y edificios. Se observa en la Figura 29, la distribución de la vulnerabilidad cultural media pudiendo incrementar, indicando una creciente vulnerabilidad en toda la zona. En general se observa una alta vulnerabilidad hacia las zonas periféricas, más alejadas del centro de la ciudad, por ende las zonas más pobres, con menos acceso a diferentes servicios y sobre todo con más deficiencias en el servicio y disponibilidad de agua potable; como menciona Soares *et al.* (2014), los grupos marginados son los más susceptibles a sufrir daños en caso de amenazas, además falta de sustentabilidad ambiental, el subdesarrollo y la pobreza son causas inevitables de los desastres, entonces, con el fin de reducirlos hay que invertir en un sistema de desarrollo con más variables que las meramente económicas (Lavell 2000). El índice global integra los índices antes mencionados; mientras que el índice integral está formado por el producto del índice global y un índice climático, este último tiene un valor de 0.8, correspondiente a una, alta vulnerabilidad para toda la zona, categorizándose como “semi-desierto (árido)”, se puede observar en la Figura 30 y



Figura 31, que no hay diferencias significativas entre la vulnerabilidad global e integral, lo cual podría reflejar que el índice climático calculado tiene poca influencia en la vulnerabilidad de la zona. Esto, puede deberse a que la zona de estudio es pequeña y muy homogénea, de acuerdo con datos de (CONABIO 2010; INEGI 2010b) diversas variables biofísicas como precipitación, temperatura, altura, tipo de vegetación entre otras, no presentan variaciones importantes.

Tabla 17.- Compilado de mapas de vulnerabilidad

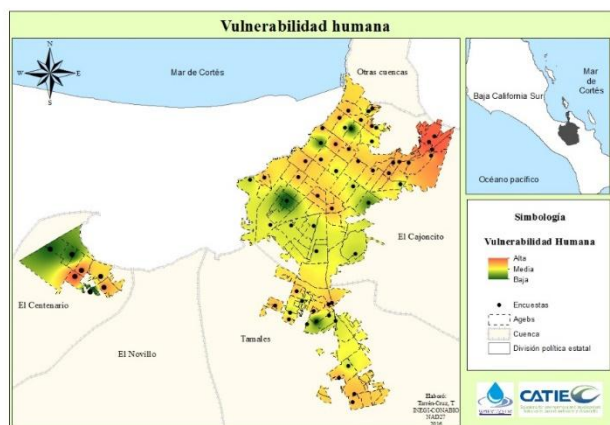


Figura 23.- Mapa de distribución de la vulnerabilidad humana

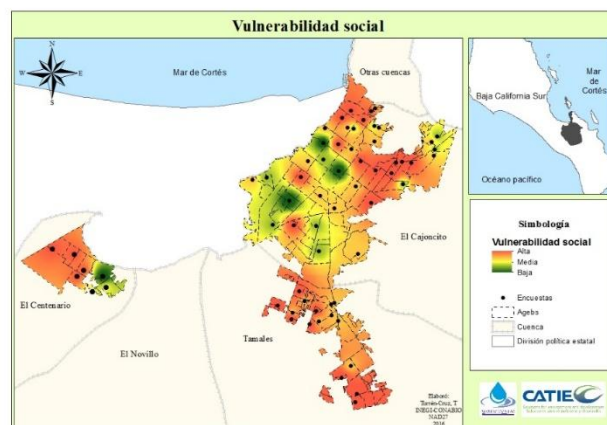


Figura 24.- Mapa de distribución de la vulnerabilidad social

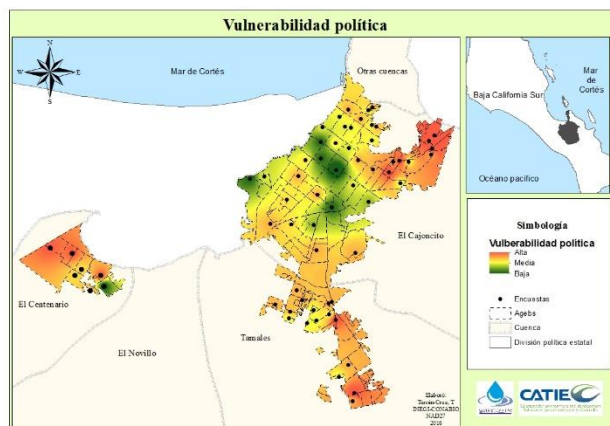


Figura 25.- Mapa de distribución de la vulnerabilidad política

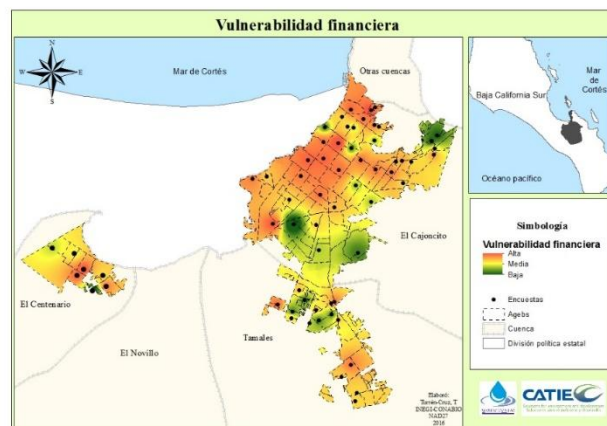


Figura 26.- Mapa de distribución de la vulnerabilidad financiera



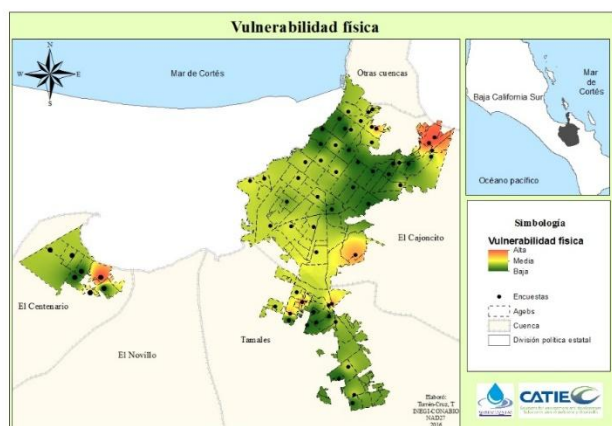


Figura 27.- Mapa de distribución de la vulnerabilidad física

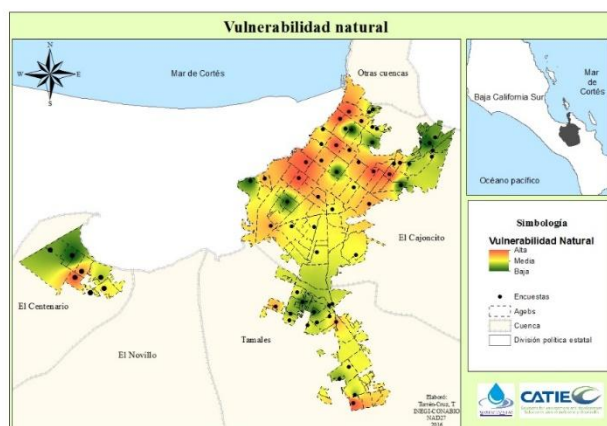


Figura 28.- Mapa de distribución de la vulnerabilidad natural

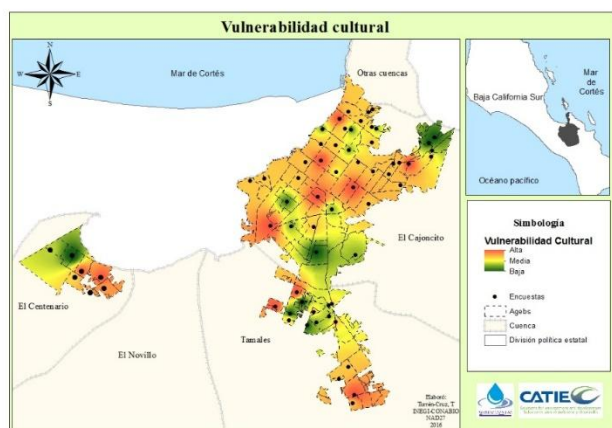


Figura 29.- Mapa de distribución de la vulnerabilidad cultural

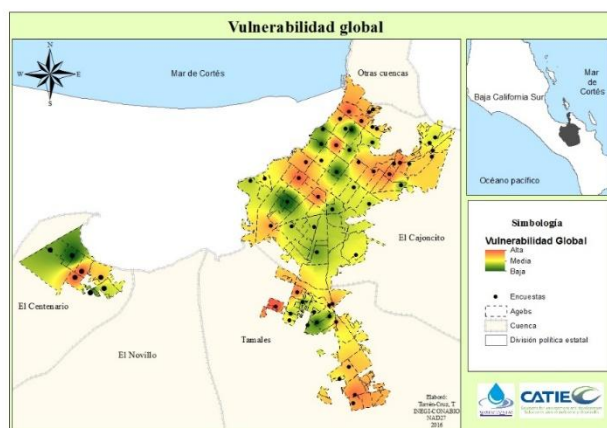


Figura 30.- Mapa de distribución de la vulnerabilidad global

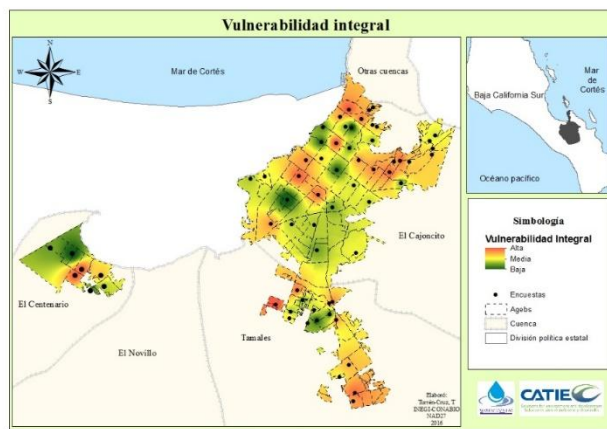


Figura 31.- Mapa de distribución de la vulnerabilidad integral



Diversos estudios realizados en la zona reflejan el problema del agua por la sobreexplotación de acuífero, la baja precipitación y la intrusión salina; y se han buscado algunas soluciones como el tratamiento de aguas residuales y la instalación de medidores de agua (Cruz Falcón *et al.* 2009; Cruz Falcón y Troyo Diéguez 2010b; Cruz Falcón y Troyo Diéguez 2010a). Más allá de la percepción social analizada en este trabajo, la vulnerabilidad en La Paz, esta también dada por las fallas del gobierno federal, estatal y municipal, en cuanto a la falta de cobro de concesiones a sus usuarios, falta de aplicación en la ley a los usuarios del agua (mal manejo y desperdicio de agua); necesidad de disminuir el desarrollo de asentamientos sin fuentes de agua suficientes, insuficiente conservación de zonas de recarga, mala administración y manejo del recurso debido a fugas, la falta medición para hacer el cobro real del consumo y eliminación de tarifas fijas o promediadas (Cruz Falcón y Troyo Diéguez 2010b). Algunas investigaciones realizadas en la zona, recomiendan moderar el desarrollo comercial y turístico, mejorar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales, reparar la red de distribución de agua potable, proveer recarga artificial al acuífero, control de la extracción del agua, planeación en el desarrollo de la ciudad, proteger zonas de recarga e instalar des-saladoras (como último recurso)(Cruz Falcón *et al.* 2009; Cruz Falcón y Troyo Diéguez 2010a). Incluir las aspiraciones, motivaciones y racionalidad de las comunidades en el proceso de estimación y disminución de la vulnerabilidad es un componente importante en la disminución de la misma, en la, mejora de la conciencia de la problemática y en el aumento de capacidades para enfrentar, reducir, prevenir, mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático (Lampis 2010) ya que no podemos hablar de adaptación de los pobladores ni de las comunidades si no conocemos el nivel de vulnerabilidad, este es el que nos permite plantear estrategias de adaptación acordes con la realidad y de implementación viable a nivel local (Ríos *et al.* 2011). Gran parte de la efectividad de las acciones encaminadas a la prevención y recuperación depende de la respuesta social para que los impactos lleguen o no a ser fatales, y además, la toma de decisiones para la reducción de riesgos debe partir del grado de vulnerabilidad de un sistema, y no precisamente del daño que haya causado un evento, como suele asumirse y se hace evidente en las políticas, acciones y presupuesto institucional aplicado, favoreciendo más la administración del desastre que la prevención (Ávila Flores y González Gaudiano 2014). Por tanto, para reducir la vulnerabilidad y minimizar impactos ante problemas de diversa índole, se debe lograr que las comunidades sean más fuertes frente a estos eventos ya que no podemos controlar los efectos del clima, fundamentalmente mediante programas de prevención y monitoreo de los niveles de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático

## CONCLUSIONES

- El análisis de la vulnerabilidad a los principales eventos climáticos desarrollados para La Paz, BCS, nos permite concluir que:
- El problema principal que conduce al nivel de vulnerabilidad media de la zona es la mala gestión de los organismos (mala infraestructura) en base a la poca agua que tienen. La sequía y la falta de agua son el factor común para la vulnerabilidad
- La población de las zonas populares o más alejadas de la ciudad, tiene más disposición a informar sobre la problemática y son los más vulnerables debido a que la falta de agua



se distribuye del centro de la ciudad hacia afuera, es decir, conforme uno se aleja del centro la disponibilidad del recurso disminuye.

- La gente que no carece del recurso es menos consciente sobre su uso, en cambio las personas que carecen más del recurso son quienes más la valoran.
- Hay poca preocupación del gobierno, organizaciones no gubernamentales y asociaciones civiles en crear una buena cultura del agua.
- Poca disposición de las Asociaciones civiles y u organizaciones no gubernamentales para atender a la población o casos de investigación.
- El costo del servicio es bajo comparado con el gasto/consumo real de agua.

#### **RECOMENDACIONES:**

- En futuras investigaciones tomar en cuenta el sector salud.
- Aplicar la metodología para todo el acuífero y con más indicadores.
- Repetir la evaluación posterior a la implementación de programas de prevención y monitoreo de la vulnerabilidad y actividades de aumento de la resiliencia ante el cambio climático

#### **AGRADECIMIENTOS**

Gracias al proyecto WaterClima-LAC, Gestión de zonas costeras (DCI-ENV/2014/350-470), por su apoyo financiero para la realización del estudio, al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) a través de los miembros de mi comité asesor, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México por el financiamiento de mis estudios de maestría, por ultimo pero no menos importante a todas las personas que de alguna forma tomaron unos minutos de su tiempo para ayudar a cumplir los objetivos de esta investigación.

#### **LITERATURA CITADA**

- Tercer Informe de Evaluación Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2001. Cambio climático 2001: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Ed. Panel Intergubernamental De Expertos Del Cambio Climático, (Ipcc). PNUMA.
- Aguilar, M. 2007. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de los pobladores rurales de la planicie costera central de El Salvador. In J. Tobar Rivas; J. Quiñónez Basagoitia; T. Rivas Pacheco. eds., GEF/PNUD
- Álvarez, G. 2014. Vulnerabilidad social y estrategias de gestión del riesgo de desastres en la cuenca Grijalva. Eds. D. Soares; G. Millán; I. Gutiérrez-Montes. MX, 51-78 p. (REFLEXIONES Y EXPRESIONES DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL EN EL SURESTE DE MÉXICO).
- Ávila Flores, B ; González Gaudiano, É. 2014. Percepción social de los eventos climáticos extremos: una revisión teórica enfocada en la reducción del riesgo. Trayectorias 1639:36-58.
- Balzarini, M; Gonzalez, L; M, T; Casanoves, F; Di Rienzo, J ; Robledo, C. 2008. Infostat. Manual del Usuario Córdoba, Argentina, Editorial Brujas. Consultado



- Butler Flora, C ; Harris Gillespie, A. 2009. Making healthy choices to reduce childhood obesity: Community capitals and food and fitness. Community development 402:114-122.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. 2010. Portal de Geoinformación. MX, Esc. (Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad).
- Cruz Falcón, A; Troyo Diéguez, E ; Salinas González, F. 2009. Panorama de la problemática del agua en la ciudad de La Paz, B.C.S. (Electrónico). Alternativa de Baja California 71:53-55.
- Cruz Falcón, A ; Troyo Diéguez, E. 2010a. Propuesta para solucionar el problema de agua en la ciudad de La Paz, B.C.S. (Electrónico). Análsis periodísticos B.C.S 119:30-31.
- \_\_\_\_\_. 2010b. El agua, ¿ Un recurso sustentable para La Paz? (electrónico). Análsis periodísticos B.C.S X114:16-17.
- Escolero, O ; Torres-Onofre, S. 2007. Análisis de la intrusión de agua de mar en el acuífero de La Paz (México). Boletín Geológico y Minero 118:637-648.
- ESRI. 2014. Box-Cox, arcsine, and log transformations. Ed. Esri. USA, ESRI. (ArcGIS RESOURCES). Disponible en <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//003100000000s000000>
- Fonseca, R ; Ramírez, A. 2014. DIAGNÓSTICO DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR. (ELECTRÓNICO). XXIII CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA 23:8.
- Gutierrez-Montes, I; Soares, D; Mareva, T; Galileo, G; Pinto, G; Ramirez, F; Romero, R ; López, R. 2014. Análisis de la suceptibilidad de los recursos comunitarios ante eventos climáticos extremos en Sitalá Chiapas: retos y propuestas conceptuales desde un enfoque de equidad social. Reflexiones y expresiones de la vulnerabilidad social en el sureste de México, MX, 143-185.
- Imbach, A. 2012. ESTRATEGIAS DE VIDA: Analizando las conexiones entre la satisfacción de las necesidades humanas fundamentales y los recursos de las comunidades rurales. Geolatina Ediciones:
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. 2010a. Principales resultados por localidad. (Estadístico). Ed. I. Instituto Nacional De Estadística Y Geografía. 2010 ed. Mx, Instituto Nacional de estadística, INEGI. (10 años).
- \_\_\_\_\_. 2010b. Cartas topográficas: Baja California Sur. MX, Esc. p. Consultado Julio 2016.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI 2011. Panorama sociodemográfico de Baja California Sur / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Lampis, A. 2010. Pobreza y riesgo medio ambiental: un problema de vulnerabilidad y desarrollo. Centro Interdisciplinario de Estudios sobre Desarrollo CIDER. Working paper:
- \_\_\_\_\_. 2013. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. Cuadernos de Geografía 222:17-33.





- Lavell, A. 2000. Desastres y Desarrollo: Hacia un Entendimiento de las Formas de Construcción Social de un Desastre: El Caso del Huracán Mitch en Centroamérica\*. CIUDADES EN RIESGO: DEGRADACIÓN AMBIENTAL, RIESGOS URBANOS Y DESASTRES (Del Desastre al Desarrollo Sostenible)
- Mercado Mancera, G; Troyo Diéguez, E; Aguirre Gómez, A; Murillo Amador, B; Beltrán Morales, L ; García Hernández, J. 2010. CALIBRACIÓN Y APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ DE De Martonne PARA EL ANÁLISIS DEL DÉFICIT HÍDRICO COMO ESTIMADOR DE LA ARIDEZ Y DESERTIFICACIÓN EN ZONAS ÁRIDAS. Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo 261:51-64.
- Murray, R ; Larry, J. 2005. Estadística 4ta. Edición. Ed. M.-G. Hill. MX,
- Ríos, S; Louman, B ; Jiménez, M. 2011. Vulnerabilidad al cambio climático en comunidad indígenas cabécares de Costa Rica. Recursos naturales y ambiente 63:21-29.
- Salas, M ; Jiménez, M. 2013. Inundaciones. Ed. V. Ramos. MX, CENAPRED. (Inundaciones).
- SEGOB. 2013. Plan Nacional de Desarrollo Mx, Consultado
- Sibelet, N; Mutel, M; Arragon, P ; Luye, M. 2013. Los métodos de investigación cualitativa aplicada al manejo de los recursos naturales (En línea). <http://entretiens.iamm.fr/>. Disponible en <http://entretiens.iamm.fr/>.
- Soares, D ; Gutierréz-Montes, I. 2011. Vulnerabilidad social, institucionalidad y percepciones sobre el cambio climático: un acercamiento al municipio de San Felipe, Costa de Yucatán. (Electrónico). Ciencia ergosum 18 3:249-263.
- Soares, D; Millán, G ; Gutierréz-Montes, I. 2014. REFLEXIONES Y EXPRESIONES DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL EN EL SURESTE DE MEXICO. MX, Instituto Mexicano del Agua, IMTA.
- Sseguya, H; Mazur, R ; Masinde, D. 2009. Harnessing community capitals for livelihood enhancement: experiences from a livelihood program in rural uganda. Community development 402:123-153.
- Troyo Diéguez, E; Mercado Mancera, G; Cruz falcón, A; Nieto Garibay, A; Valdez Cepeda, R; García Hernández, J ; Murillo Amador, B. 2015. Análisis de la sequía y desertificación mediante índices de aridez y estimación de la brecha hídrica en Baja California Sur, noroeste de México. (Electrónico). Investigaciones Geográficas 085:
- Wilches-Chaux, G. 1993. La Vulnerabilidad Global. CO, 9-50 p. (Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.).





Extenso ID: 163. Wendy Morales Barrera, Ilse Espinosa Sosa. APLICACIÓN DEL MAPEO PARTICIPATIVO, PARA EL CONOCIMIENTO DE LOS RIESGOS NATURALES Y ANTROPOGÉNICOS EN LAS CUENCAS DE VERACRUZ

[Regresar al índice](#)

Instituto de Geología de la UNAM, Secretaría de Protección Civil

### **Resumen:**

La Secretaría de Protección Civil, en respuesta a las situaciones de peligro y vulnerabilidad de las comunidades Veracruzanas, decidió llevar a cabo un programa de prevención de riesgos denominado Plan Comunitario para la Reducción de Riesgos.

El objetivo principal del Programa es, promover en la comunidad el conocimiento y la identificación de los riesgos y los recursos con los que cuenta para reducir sus condiciones de vulnerabilidad ante las amenazas de su entorno, mediante la elaboración del Mapa Comunitario de Riesgos y la conformación de Brigadas Comunitarias.

Las líneas estratégicas del programa son:

1. Participación comunitaria. Esta estrategia pretende desarrollar y fortalecer las organizaciones comunitarias en materia de protección civil y reducción de riesgos de desastre, a través de la conformación brigadas comunitarias.
2. Desarrollar herramientas para la reducción de riesgos. Una de las principales herramientas es el Mapa Comunitario de Riesgo, el cual es elaborado por miembros de la comunidad, para identificar sus peligros naturales y antropogénicos, sus vulnerabilidades físicas y humanas, sus recursos con los que cuenta, rutas de evacuación y refugio temporal, así como un sistema de alertamiento comunitario, es decir, conocer sus debilidades y fortalezas.

En el diseño e implementación de este programa la Secretaría invitó a participar al Consejo Nacional de Fomento Educativo (CONAFE). El programa en una primera etapa, está dirigido a atender las comunidades en las que CONAFE tiene el servicio educativo; esto representa un universo de trabajo de 197 Municipios con un total de 2898 localidades.

Para ello, la Secretaría de Protección Civil capacitó a la estructura de CONAFE, y opera con el personal docente del mismo. Asimismo, se establece una sinergia y coordinación entre los líderes educativos comunitarios, autoridades locales (agentes municipales y directores de Protección Civil) y estatales (Secretaría de Protección Civil), para invitar a los miembros de la comunidad a participar en la elaboración del Mapa Comunitario de Riesgos y la conformación de las Brigadas Comunitarias.

A la fecha se han elaborado 748 Mapas Comunitarios de Riesgos y se han conformado más de 350 Brigadas Comunitarias, con la participación de al menos 5000 habitantes de las comunidades.



IV CONGRESO  
NACIONAL

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

2016  
XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

**Palabras Clave:** Mapa comunitario, Brigadas Comunitarias, peligros, vulnerabilidad