

# **V CONGRESO NACIONAL 2019** 29-31/Oct./CDMX, México

## **1<sup>er</sup> LATINOAMERICANO**

### **MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**



# **MEMORIAS EN EXTENSO**

## **VOLUMEN III**



***I Congreso Latinoamericano y V Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas  
Memorias en Extenso Volumen III. 424pp.***

Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, IPN

Red Red Mexicana de Cuencas

Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.

Responsable de la Publicación: Germán Raúl Vera Alejandre

Diseño de Portada y Producción Editorial: J. Enrique Castelán Crespo

Diseño de Logotipo: Arnold Landa Villa

Ciudad de México, octubre 2019



## **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

Dr. Mario Alberto Rodríguez Casas

**Director General**

M. en D.D.C. María Guadalupe Vargas Jacobo

**Secretaria General**

Dr. Jorge Toro González

**Secretario Académico**

Dr. Juan Silvestre Aranda Barradas

**Secretario de Investigación y Posgrado**

Dra. Laura Arreola Mendoza

**Directora de Investigación**

## **Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo**

Dr. Víctor Florencio Santes Hernández

**Director**

Dr. Luis Raúl Tovar Gálvez

**Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social**

Oscar Alberto Figueroa Franco

**Subdirector Administrativo**

C.P. Mara Trujillo Matías

**Departamento de Recursos Financieros y Materiales**

Arq. Omar Armas Lara

**Unidad Politécnica de Integración Social**



## **PRESIDENTE HONORARIO**

Dr. Víctor Florencio Santes Hernández  
CIEMAD-IPN

## **COORDINACION GENERAL**

M. en C. Germán Raúl Vera Alejandre  
CIEMAD-IPN y REMEXCU

## **COMITE ORGANIZADOR**

Dr. Ismael Aguilar Benítez  
COLEF y ReTGIA

Dra. Estefanía Martínez Tavera  
UPAEP

Dra. Helena Cotler Ávalos  
Centro Geo

Mtra. Martha Concepción Merino  
Pérez  
CECADESU-SEMARNAT

Dra. Judith Domínguez Serrano  
ColMex

Dr. Jonathan Muthuswamy Ponniah  
CIEMAD-IPN

Paola Fernanda Gómez Sánchez  
Agua.org.mx

Ing. Roberto Olivares  
RELOC

Lic. Ma. Teresa Gutiérrez Mercadillo  
FCEA

Dra. Yolanda Ordaz Guillén  
CIEMAD-IPN

Biol. Ignacio González Mora  
WWF-México y REMEXCU

Dra. María Perevochtchikova  
ColMex y RedSocioecoS

Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero  
UAQ

Dr. Raúl Francisco Pineda López  
UAQ

M. en C. Alejandro Juárez Aguilar  
Instituto Corazón de la Tierra e ILEC

M. en C. Eduardo Ríos Patrón  
REMEXCU

Dr. Adolfo Mejía Ponce de León  
CIEMAD-IPN

Ing. José Luis Romero Morales  
Red Latinoamericana en el Rescate  
de Ríos Urbanos





## **COMITE DE LOGISTICA**

Lic. Héctor Barradas  
**CIEMAD-IPN**

Dr. Pierre Mokondoko Delgadillo  
**REMEXCU**

M. en C. Alejandro Romo Mexia  
**CIEMAD-IPN**

Lic. Jaime Chávez Bravo  
**CIEMAD-IPN**

Ing. Noé Hernández Neri  
**CIEMAD-IPN**

Biol. Adriana Tobón Pérez  
**CIEMAD-IPN**

Arq. Virginia Roque  
**CIEMAD-IPN**

Lic. Aurelio Bernal Campos  
**CIEMAD-IPN**

M. en C. Arnold Landa Villa  
**REMEXCU**

## **COMITE CIENTIFICO**

Dr. Adolfo Mejía Ponce de León  
**CIEMAD-IPN**

Dra. Helena Cotler Ávalos  
**Centro Geo**

M. en C. Alejandro Juárez Aguilar  
**ICT, A.C.**

Biol. Ignacio González Mora  
**WWF**

Dr. Ángel Terán Cuevas  
**CIEMAD-IPN**

Dr. Ismael Aguilar Benítez  
**COLEF**

M. en C. Eduardo Ríos Patrón  
**REMEXCU**

Dr. Jonathan Muthuswamy Ponniah  
**CIEMAD-IPN**

Dr. Juan Manuel Núñez Hernández  
**CENTRUS IBERO**

Dr. Luis Enrique Granados Muñoz  
**IGG-UNAM**

Dra. Judith Domínguez Serrano  
**COLMEX**

Dra. María Perevochtchikova  
**COLMEX**

Dra. Leticia Gómez Mendoza  
**IGG-UNAM**

Dra. Patricia Gerez Fernández  
**UV**

Ing. Roberto Olivares  
**RELOC**

Dra. Yolanda Ordaz Guillén  
**CIEMAD-IPN**

Dr. Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel  
**CIEMAD-IPN**

Dr. Pedro Joaquín Gutiérrez Yurrita  
**CIEMAD-IPN**

Ing. José Luis Romero Morales  
**RLRRU**

Dr. Pierre Mokondoko Delgadillo  
**INECOL**

Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero  
**UAQ**

Dr. Raúl Francisco Pineda López  
**UAQ**

## REVISION DE RESUMENES

M. en C. Miguel Alvarado Cardona  
(CIEEMAD-IPN)

M. en C. J. Enrique Castelán Crespo  
(CIEEMAD-IPN)

M. en I. Diana Lucía Cristancho Montenegro  
(Universidad Central, Colombia)

Dr. Ricardo Domínguez Varela  
(WWF-México)

M. en C. José Manuel Espinoza Rodríguez  
(FFyL-UNAM)

Dr. Gonzalo Hatch Kuri  
(MAGIC-UAQ)

M. en C. Laura Patricia Mendicuti Castro  
(CIEEMAD-IPN)

Dr. José Luis Miranda Jiménez  
(MAGIC-UAQ)

Dra. Mariana Zareth Nava López  
(WWF-México)

Dra. Tamara Guadalupe Osorno Sánchez  
(MAGIC-UAQ)

Dr. Octavio Pérez Maqueo  
(INECOL)

Dra. Karla Juliana Rodríguez Robayo  
(Centro Geo)

Dra. Nora Ruíz Ordaz  
(ENCB-IPN)

Dra. Sujitha Suresh Babu  
(CMPL-IPN)

M. en C. Germán Raúl Vera Alejandre  
(CIEEMAD-IPN Y REMEXCU)

Dra. Mariana Villada Canela  
(UABC)

Dr. Ángel Emmanuel Zuñiga Tovar  
(IGG-UNAM)

Dr. Carlos Ortiz Paniagua  
(ININEE-UMSNH)

Mauricio Galeana Pizaña  
(Centro Geo)

Lic. Aurelio Bernal Campos  
(CIEEMAD-IPN)

M. en C. Erandi Amor Castillo Pérez  
(COLMEX)

M. en C. María Guadalupe Díaz Santos  
(COLMEX)

Adriana Carolina Flores-Díaz  
(CENTRUS IBERO)

Dr. Cutberto José Juvencio Galíndez Mayer  
(ENCB-IPN)

Dr. Agustín Madrigal Bulnes  
(SRL, A.C.)

Dr. Manuel Mendoza Cantú  
(CIGA-UNAM)

Dra. Sandra Morales García  
(CMPL-IPN)

Dra. Leticia Oseguera Figueroa  
(ITP)

Dr. Enrique Pérez Campusano  
(IGG-UNAM)

Dr. Ricardo Miguel Pérez Munguía  
(MCIA-UMSNH)

Dr. Miguel Rodríguez Serna  
(FC-UNAM)

Dra. Elisa Enriqueta de Jesús Sedas Larios  
(U. Anáhuac)

Dra. Clara Tinoco Navarro  
(CRCC-UAQ)

M. en C. Jordi Vera Cartas  
(FGM)

M. en C. Juan Von Thaden  
(INECOL)

Dra. Estefanía Martínez Tavera  
(UPAEP)

Dr. Carlos Ortiz Paniagua  
(ININEE-UMSNH)

José Alberto Gallardo  
(CENTRUS IBERO)



# INDICE

---

## Mesa 9. Políticas públicas, instrumentos de planeación y participación, y articulación institucional

ID-032: INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD ECOLÓGICA COMO INSTRUMENTO DE GESTIÓN HÍDRICA	2
ID-039: PLANIFICACIÓN HÍDRICA Y GOBERNANZA DEL AGUA: SU IMPLEMENTACIÓN EN LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO AMECAMECA Y EN EL PUEBLO DE TECÁMAC DE FELIPE VILLANUEVA, VALLE DE MÉXICO	9
ID-105: PLATAFORMA DE PLANEACIÓN PARTICIPATIVA EN FAVOR DE LA MICROCUENCA DE RÍO CHIQUITO EN MORELIA, MÉXICO.	18
ID-188: PLAN HÍDRICO: HERRAMIENTA DE RESILIENCIA MUNICIPAL EN JESÚS MARÍA, AGUASCALIENTES	26
ID-202: LA CUENCA COMO LA UNIDAD DE ESTUDIO DEL TERRITORIO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO	36
ID-205: METAVALORACIÓN DEL ENFOQUE DE CUENCA SOCIAL COMO MODELO DE GESTIÓN DEL TERRITORIO. EL CASO DE SENDAS, A.C. MIEMBRO DE LA COALICIÓN DE ORGANIZACIONES DE LA BIO-REGIÓN JAMAPA-ANTIGUA (COBIJA)	43
ID-210: LA CO-PARTICIPACIÓN EN EL MANEJO DE CUENCAS: EXPERIENCIAS DEL REINO UNIDO Y LA SITUACIÓN DE MÉXICO	53
ID-211: ANÁLISIS SISTÉMICO Y ESPACIAL DE LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO METZTITLÁN	63
ID-225: MIRADAS CONCEPTUALES Y TÉCNICAS EN TORNO AL ENFOQUE DE CUENCA SOCIAL COMO MODELO DE GESTIÓN DEL TERRITORIO.	71
ID-230: MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO MAYO CON SWAT	81
ID-256: ANÁLISIS DE REDES DE POLÍTICA PÚBLICA COMO HERRAMIENTA EN LA GESTIÓN DEL AGUA PARA AGRICULTURA	91
ID-264: EL TRABAJO CON VISIÓN DE CUENCA UN CATALIZADOR PARA EL PRIMER PROTOCOLO PARA COMUNIDADES LOCALES EN MÉXICO	100
ID-265: MICROCUENCA DE LA PRESA DE UMÉCUARO: CAMBIOS Y EXPECTATIVAS	105
ID-377: POLÍTICAS HÍDRICAS Y FORESTALES DE MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO	115

## Mesa 10. Procesos sociales y culturales con relación al manejo de cuencas

ID-017: GOBERNANZA INTERCOMUNITARIA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO	125
ID-034: REGENERANDO EL TEJIDO NATURAL Y SOCIAL EN LA CUENCA ALTA DEL VERDE-ATOYAC, OAXACA, MÉXICO	136
ID-094: ABASTECIMIENTO DE AGUA EN VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE CHILPANCINGO DE LOS BRAVO, GUERRERO	144

ID-102: UNA APROXIMACIÓN HACIA LA GESTIÓN COMUNITARIA DEL AGUA EN LA MICROCUENCA SAUZ DE GUADALUPE, PINAL DE AMOLES, QUERÉTARO	151
ID-298: REALIDAD AUMENTADA, OPCIÓN TECNOLÓGICA PARA UN MEJOR CONOCIMIENTO SOBRE MANEJO DE CUENCAS.	163
ID-301 POLITICAS PÚBLICAS Y SUSTENTABILIDAD DE LA CUENCA PROPIA DEL LAGO DE CHAPALA	168


## **Mesa 11. Riesgos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático con enfoque de cuenca**

ID-014: GEOEVALUACION DEL CAMBIO CLIMATICO EN EL ESTADO DE COLIMA USANDO SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y SU CORRELACION CON ZONAS DE PELIGRO PARA ENFERMEDADES INFECCIOSAS	179
ID-023: LOS CONTEXTOS SOCIAL E HIDROLÓGICO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL NORTE DE MÉXICO: LA CUENCA DEL RÍO TIJUANA	191
ID-026: EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL CAUDAL ECOLÓGICO EN LOS RÍOS DE LAS SUBCUENCAS YAUTEPEC Y CUAUTLA	201
ID-028: SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN EN ASENTAMIENTOS RURALES EN ZONAS REMOTAS: CASO DE ESTUDIO EN UNA CUENCA MONTAÑOSA DE LA REGIÓN SIERRA-COSTA DE MICHOACÁN	211
ID-042: EVALUACIÓN DE RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA MICROCUENCA DE QUECHULTENANGO, GUERRERO	221
ID-063: LA VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PORCIÓN COSTERA DE LA SUBREGIÓN HIDROLÓGICA TONALÁ-COATZACOALCOS	230
ID-075: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL DE LAS LOCALIDADES ANTE EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS EN LA SUBCUENCA EMBALSE INFIERNILLO BAJO BALSAS.	240
ID-111: GESTIÓN DE RIESGOS POR MOVIMIENTO DE LADERAS EN LA MICROCUENCA CHEMEALÓN EN TACANÁ, SAN MARCOS, GUATEMALA	250
ID-124: EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE CLIMÁTICA EN ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE AVENIDAS DE DISEÑO	263
ID-125: INTERVALOS DE INFILTRACIÓN BAJO ESCENARIO ACTUAL Y DE CAMBIO CLIMÁTICO DE TRES MICROCUENCAS DEL ANP LA PRIMAVERA, JALISCO	273
ID-189: CAMBIOS IRREVERSIBLES EN LA CUENCA BAJA DEL GRIJALVA-USUMACINTA	283
ID-191: VULNERABILIDAD HÍDRICA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL EFECTO DE LAS INTERVENCIONES SOCIOAMBIENTALES EN LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA, GUANAJUATO	288
ID-279: EFECTOS DEL NIÑO COSTERO 2017 SOBRE LAS VARIABLES HIDROCLIMATOLÓGICAS EN EL NORTE DE SURAMÉRICA	299
ID-293: MODELACIÓN ESTOCÁSTICA DE LOS EVENTOS DE CAUDALES MÁXIMOS POR CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO FONCE (SAN GIL, COLOMBIA) CON FINES DE DISEÑO DE OBRAS – FASE I: APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PEARSON	309
ID-327: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO Y SU PERCEPCIÓN DE LOS ACTORES CLAVE	320
ID-393: EROSIÓN Y ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL COMO CONSECUENCIA DE INCENDIOS FORESTALES BAJA Y ALTA INTENSIDAD EN EL OCCIDENTE DE MÉXICO	328



## **Mesa 12. Servicios ecosistémicos (SE) y Pago por Servicios Ambientales (PSA)**

ID-024: VALORACIÓN ECONÓMICA DEL AGUA EN VALLE DE GUADALUPE	336
ID-097: RIESGOS Y OPORTUNIDADES DEL ENFOQUE BASADO EN SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PARA LA CONSERVACIÓN: PERCEPCIONES DE LOS ACTORES LOCALES EN CHIAPAS	347
ID-104: SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA CUENCA USUMACINTA: IMPORTANCIA SOCIAL Y ECONÓMICA	356
ID-109: DEMANDA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE MICROCUENCAS, QUERÉTARO	372
ID-138: EVALUACIÓN DE IMPACTOS VOLUMÉTRICOS Y ENERGÉTICOS DE TRASVASE EN CAUDALES SUPERFICIALES	378
ID-204: VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA COPRODUCCIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS FORESTALES EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN DE LA CDMX, MEDIANTE EXPERIMENTOS DE ELECCIÓN	390
ID-262: COMPLEMENTARIEDAD ENTRE SITIOS PRIORITARIOS EN LA PLANEACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS DE LA RIVIERA MAYA, QUINTANA ROO, MÉXICO	400
ID-290: COMPENSACIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS; MÁS ALLÁ DE LA CONSERVACIÓN DE BOSQUES, EL CASO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC	409
ID-351: MAPEO DE LA PROVISIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO EN LA SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO	416



## **Mesa 9.**

**Políticas públicas, instrumentos de  
planeación y participación, y  
articulación institucional**



## **ID-032: INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD ECOLÓGICA COMO INSTRUMENTO DE GESTIÓN HÍDRICA**

Elizabeth Flórez Córdoba <sup>a</sup>, Esnedy Hernández Atilano <sup>b</sup>, Diana María Agudelo Echavarría <sup>c</sup>, Alejandro Arenas Vasco <sup>d</sup>

<sup>a, b, c, d</sup> Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería. Calle 67 N° 53 – 108

<sup>a</sup> elizabeth.florez1@udea.edu.co, <sup>b</sup> esnedy.hernandez@udea.edu.co, <sup>c</sup> diana.agudelo@gmail.com,

<sup>d</sup> aarenas2.aa@gmail.com

### **RESUMEN**

En un contexto de gestión integral del recurso hídrico, las cuencas hidrográficas se pueden considerar como el instrumento para avanzar en la planificación ambiental de los territorios con base en el fortalecimiento de pautas para la ordenación de las cuencas. De este modo, en Colombia se han establecido diferentes bases legislativas por parte del estado en búsqueda del ordenamiento y la sostenibilidad del recurso hídrico. Dentro de dichos lineamientos se incluye la evaluación de calidad del agua de fuentes superficiales, lo cual comúnmente se realiza mediante la aplicación de índices fisicoquímicos y biológicos por separado que reflejan en una escala numérica el estado del recurso hídrico en cuanto a su calidad. Con base en estas estimaciones, se ha identificado una brecha entre la gestión del recurso y el ecosistema acuático, teniendo en cuenta que los registros fisicoquímicos reflejan condiciones instantáneas, mientras que los resultados biológicos pueden acumular información de diferentes periodos de tiempo. Teniendo en consideración lo anterior, la Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Colombia) en el año 2014 estableció la evaluación del índice de calidad ecológica como un enfoque integral del estado ambiental de los sistemas lóticos, el cual considera métodos estadísticos multivariados aplicados a ecología. Frente a directrices de este tipo, las autoridades ambientales competentes se han enfrentado con dificultades durante la interpretación de la metodología propuesta o por el requerimiento específico de software para el cálculo del índice. Por tanto, la presente investigación proporcionará una interpretación de los aspectos ecológicos que se encuentran vinculados con los cálculos matemáticos que requiere el índice de calidad ecológica, además de potenciar la metodología de cálculo del índice en un software estadístico de uso libre a partir de métodos estadísticos multivariados. De este modo, se pretende complementar los insumos técnicos que evalúan las dinámicas en el ecosistema acuático de acuerdo con características propias de las cuencas hidrográficas.

**Palabras clave:** calidad ecológica, estadística multivariada, gestión.

### **1 INTRODUCCIÓN**

El deterioro de las cuencas hidrográficas se puede relacionar con el aprovechamiento descontrolado del recurso hídrico, dados los usos del agua para el sustento y desarrollo de actividades productivas, así como la recepción directa de aguas de tipo doméstico e industrial. Este tipo de afectaciones afectan los ecosistemas acuáticos, por lo cual han desencadenado diversos debates desde las autoridades ambientales con el propósito de establecer medidas relacionadas con la planificación ambiental de los territorios.

Colombia no es un país ajeno a dicha problemática, por lo cual han definido bases legislativas que promuevan la sostenibilidad del recurso hídrico, además de fortalecer el concepto de gobernanza del agua. Tal es el caso de la Política Nacional para Gestión Integral del Recurso Hídrico (MADS, 2010) y el Decreto 3930 de 2019; así como las guías para el Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) y el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH), los cuales son complementarios en el ejercicio de la gestión, además de incluir enfoques para la evaluación de la calidad del agua a partir de la estimación de índices de calidad fisicoquímica e hidrobiológica (MADS, 2014; MADS, 2018).

Dentro de los elementos establecidos para evaluar el estado de la calidad del agua, los índices fisicoquímicos se ven fuertemente influenciados por las condiciones climáticas y son el reflejo del estado instantáneo al momento de un monitoreo; mientras que los indicadores biológicos pueden acumular eventos de disturbio de varios lapsos de tiempo (Alba-Tercedor, 1996).

En búsqueda de afianzar los análisis de la calidad del agua que normalmente se ejecutan durante los ejercicios de gestión integral del recurso hídrico, diferentes autores han tratado de relacionar la información fisicoquímica y biológica. Así, se destaca el ejercicio realizado por Haase y Nolte (2008), donde tuvieron en cuenta información de macroinvertebrados acuáticos hasta un nivel de especie en cuerpos de agua del sureste de Queensland (Australia) para desarrollar el índice ISI (Invertebrate Species Index) con el propósito de definir el nivel de detección del cambio biológico en la comunidad de macroinvertebrados ante la afectación de las corrientes por nutrientes. Por otro lado, en Uruguay Chalar *et al.* (2011) plantearon el índice biótico TSI-BI (Trophic State Index for Benthic Invertebrates) para ríos suramericanos, con el cual se estableció una clasificación del estado trófico de los sistemas lóticos con base en la abundancia de macroinvertebrados acuáticos y variables fisicoquímicas.

Fundamentado en las anteriores investigaciones, Forero *et al.* (2014) propusieron la evaluación del estado ecológico de la cuenca del río Negro (Colombia) por medio de la formulación del índice de calidad ecológica (ICERN-MAE), el cual se consideró como una herramienta cuantitativa a partir de la abundancia de los macroinvertebrados acuáticos y las correlaciones entre las variables fisicoquímicas. El índice de calidad ecológica se estableció como un método basado en estadística multivariada, que permite definir un gradiente ambiental de acuerdo con las particularidades fisicoquímicas que presenta cada cuenca y, a su vez, determinar valores óptimos y de tolerancia de cada taxón en función de dicho gradiente.

Dentro de las estrategias para el análisis del ecosistema acuático, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Colombia) consideró la propuesta de Forero *et al.* (2014) en la Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico bajo la coordinación de la Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico, dado que se identificó que en el ejercicio de la gestión no se estaba incluyendo la estimación del estado ecológico de los sistemas hídricos (MADS, 2018). Dentro de la estructura hidrográfica definida en Colombia, se han considerado diferentes niveles de planificación que requieren de la aplicación de los lineamientos descritos por parte de los entes gubernamentales, frente a lo cual las autoridades ambientales competentes se encuentran sujetos a recurrir a alternativas que implican supuestos que no cuentan con una explicación técnica adecuada, tan solo para dar cumplimiento a la normatividad. De este modo, la presente investigación tiene como propósito realizar una interpretación del índice de calidad ecológica desde el punto de vista ecológico y a la par potenciar el uso de herramientas estadísticas multivariadas aplicadas al campo de la ecología durante los ejercicios de gestión del recurso hídrico.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

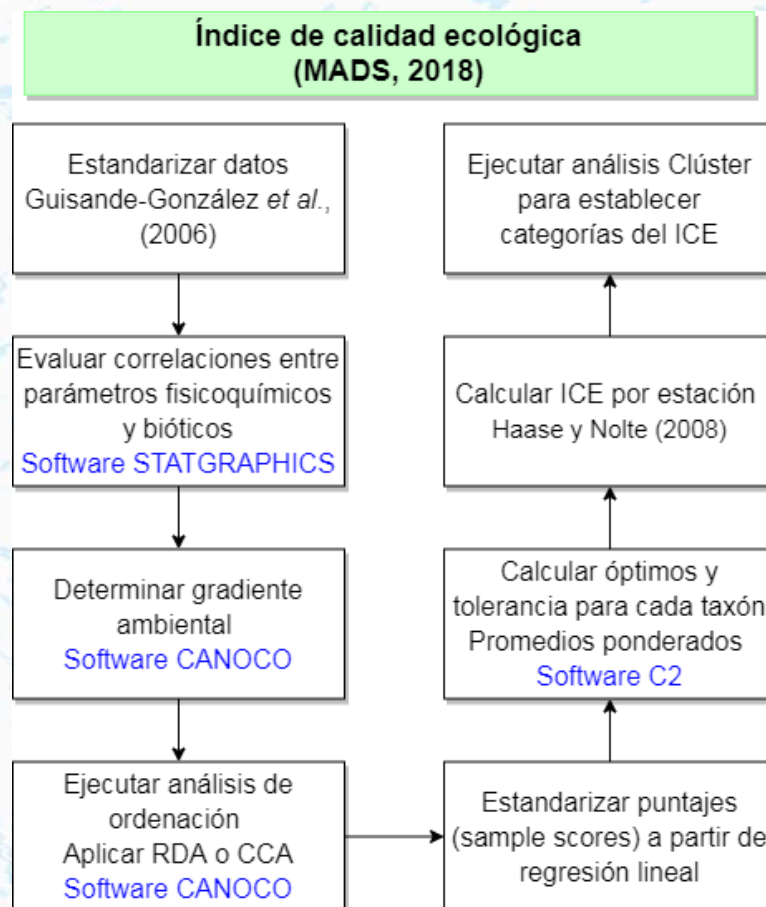
Teniendo en cuenta la investigación de Chalar *et al.* (2011), el cálculo del índice de calidad ecológica se puede sintetizar en los siguientes pasos que abarcan diferentes métodos de estadística multivariada:

- Evaluar las correlaciones de Spearman entre las variables fisicoquímicas para eliminar variables redundantes.
- Determinar un gradiente ambiental desde un modelo lineal correspondiente a un análisis de redundancia sin tendencia (RDA), o un modelo unimodal, tal como Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), según sea el caso. Dichos análisis se pueden ejecutar en un programa estadístico tal como CANOCO. Tener en cuenta que los datos deben ser estandarizados previamente de acuerdo con el método propuesto por Guisande-González *et al.*, (2006). Para explicar el gradiente ambiental se examinan además, las correlaciones de Spearman entre las variables significantes y las no significantes en el modelo CCA o RDA, según el caso.



- Estandarizar los puntajes de las estaciones (sample scores) obtenidos desde el primer eje del RDA o del CCA. Ésta consiste en redimensionar los datos a una nueva escala entre 1 y 10 a partir de una regresión lineal. La regresión es formulada desde los valores máximo y mínimo de los sample scores.
- Obtener los puntajes óptimos y de tolerancia para cada taxón, a partir de un análisis de promedios ponderados (Weighted Averaging, WA) utilizando los datos redimensionados, el cual podrá ejecutarse en el software de Análisis de Datos C2. Con estos puntajes se calcularán los valores del índice de estado ecológico por estación, con base en la fórmula propuesta por Haase y Nolte (2008).
- Agrupar las estaciones de monitoreo a partir de los valores del índice de estado ecológico junto con los datos de una variable fisicoquímica indicadora. Con ello se obtendrán los rangos para establecer las categorías del índice. Emplear un método de agrupamiento a los pares de grupos no ponderados aplicando la media aritmética y la distancia euclidiana.

Con base en el esquema que se presenta en la Figura 1, se realizó la identificación de un software estadístico de uso libre que permitiera ejecutar los análisis requeridos para el cálculo del índice de calidad ecológica (ICE).



**Figura 1.** Metodología de cálculo para el índice de calidad ecológica (MADS, 2018)

Luego de la identificación de los métodos estadísticos multivariados y los cálculos matemáticos necesarios para evaluar el índice de calidad ecológica, se analizó en paralelo la interpretación estadística y ecológica de cada uno de los pasos establecidos en la metodología de cálculo del ICE.

### 3 RESULTADOS

Dadas las particularidades que pueden presentarse entre las cuencas hidrográficas, la estimación del índice de calidad ecológica requiere de análisis particulares para cada caso, teniendo en cuenta que el gradiente ambiental se determina en función de las variables fisicoquímicas, y a su vez la estimación de éstas se encuentran ligadas a las afectaciones que se presenten en la cuenca de interés, tanto de tipo antrópico como natural. A partir del gradiente ambiental calculado, se deben establecer los valores óptimos y de tolerancia para los organismos del grupo biológico monitoreado.

La presente investigación logró identificar que el software estadístico R permite la ejecución de los diferentes métodos estadísticos multivariados y cálculos matemáticos necesarios según lo establecido en la Guía de planes de ordenamiento del recurso hídrico. Además de permitir el tratamiento de grandes volúmenes de datos, R es un software de uso libre, por tanto, mediante su uso durante la aplicación del ICE se potenciará el uso de herramientas estadísticas multivariadas aplicadas al campo de la ecología.

En la Tabla 1 se presenta un paralelo entre los pasos requeridos para el cálculo del índice de calidad ecológica, su implementación en el software estadístico R y su interpretación desde un punto de vista ecológico. Con base en ello se espera que al evaluar la calidad ecológica de cierta fuente superficial se tenga en cuenta que este índice no se encuentra condicionado a un sistema en específico, por lo cual requiere de un análisis en particular de acuerdo con las afectaciones sobre la calidad del recurso hídrico que se presente en cada cuenca hidrográfica y el grupo biológico incluido en el análisis.

### 4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los enfoques ecológicos que permiten diferentes análisis estadísticos multivariados pueden soportar el hecho de que son una herramienta útil para predecir patrones de los organismos específicos en un sitio, y los organismos que se encontrarían en ausencia de un estrés ambiental importante (Li *et al.*, 2010). Es así como la estructura de cálculo del índice de calidad ecológica permite analizar las variaciones en la abundancia de diferentes grupos hidrobiológicos a partir de los cambios en las condiciones ambientales de un cuerpo de agua, dadas las particularidades de la cuenca de interés.

Como se estableció inicialmente en la metodología adoptada por el Ministerio de Ambiente en la Guía para planes de ordenamiento de recurso hídrico (MADS, 2018), diferentes software estadísticos permiten ejecutar los análisis requeridos para el cálculo del índice ICE. Frente a ello, se analizó el cómo minimizar los errores en la estimación del valor del ICE asociados al uso de diferentes programas estadísticos, definiendo el cálculo del índice en el software estadístico de uso libre R. Este tipo de herramientas han permitido fortalecer el uso de los índices ecológicos, los cuales han basado en el uso de modelos matemáticos complejos que estiman la respuesta de algunas especies acuáticas a las variaciones ambientales, como en el caso del índice de calidad ecológica.

Mediante la presente investigación se logró presentar un complemento para los insumos técnicos con base en las condiciones ambientales propias de los ecosistemas acuáticos. A partir de la transformación de los registros provenientes del monitoreo fisicoquímico y biológico en fuentes superficiales, se obtuvo información que facilita la interpretación de las dinámicas de las cuencas hidrográficas teniendo en cuenta las variaciones en el gradiente ambiental.



**Tabla 1.** Paralelo entre cálculos para el índice de calidad ecológica y su interpretación

Cálculo a ejecutar	Ejecución en Software		Interpretación
	Utilizado	Implementación en R	
Evaluar correlaciones entre parámetros físicoquímicos y bióticos	STATGRAPHICS Análisis de correlaciones	Función rcorr Correlación por el método de Spearman	- Se analiza la dependencia entre las variables.
Determinar gradiente ambiental	CANOCO	Paquete Vegan Función DCA	- Útil para analizar las distribuciones de los organismos en el espacio y el tiempo a partir de una modelación de las abundancias de las especies en función de las variables ambientales. - Se estima la longitud del gradiente en unidades de desviación estándar para definir el modelo de ordenación a implementar.
Análisis de ordenación Aplicar RDA o CCA	CANOCO	Paquete Vegan Función CCA o RDA	- La respuesta lineal es la aproximación más simple frente a datos relativamente homogéneos; mientras que el modelo unimodal supone que la relación es simétrica alrededor de una especie óptima. - Se definen ejes principales de variación o variables latentes con un buen ajuste a la información biológica.
Calcular óptimos y tolerancia para cada taxón	C2	Paquete Rioja Función WA Método promedios ponderados	- Se extrae una señal ambiental univariada desde una matriz biológica multivariada. - Óptimo: respuesta del organismo al gradiente ambiental. - Tolerancia: adaptación del organismo al gradiente ambiental.

Cálculo a ejecutar	Ejecución en Software		Interpretación
	Utilizado	Implementación en R	
Calcular ICE por estación Haase y Nolte (2008)	<p>Opi corresponde al valor óptimo de cada taxón determinado a partir del promedio ponderado; Toli se refiere al valor de la tolerancia de cada taxón determinado a partir del promedio ponderado y Abi es el promedio de las abundancias de cada taxón por estación transformada a Log10 + 1</p> $ICE_i = \frac{\sum_{i=1}^n (Tol_i * Op_i * Ab_i)}{\sum_{i=1}^n (Tol_i * Ab_i)}$		Medición con respecto al estrés.
Análisis Clúster para establecer categorías	STATGRAPHICS Análisis de conglomerados	<p>Función hclust Método Ward, distancia euclidiana</p>	Obtener rangos para agrupar las estaciones de monitoreo a partir de los valores del índice de calidad.



## 5 AGRADECIMIENTOS

Se extienden los agradecimientos al grupo de investigación GeoLimna de la Escuela Ambiental, así como a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.

## 6 LITERATURA CITADA

Alba, J. 1996. Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad del Agua de los Ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). Almería. Vol II: 203-213

Chalar, G.; Arocena, R.; Pacheco, J.; Fabián, D. 2011. Trophic assessment of streams in Uruguay: A Trophic State Index for Benthic Invertebrates (TSI-BI). Elsevier. Ecological Indicators 11 (2011) 362–369

Decreto 3930 de 2010. Diario Oficial 47837 de octubre 25 de 2010. República de Colombia.

Forero, L.; Longo, M.; Ramírez, J.; Chalar, G. 2014. Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICERN-MAE), Colombia. Revista de Biología Tropical, vol. 62, núm. 2, abril, pp. 233-247

Guisande-González, C., Barreiro-Felpeto, A., Maneiro-Estraviz, I., Riveiro-Alarcón, I., Vergara-Castaño, A. y Vaamonde-Liste, A. (2006). Tratamiento de Datos. Galicia, España: Ediciones Díaz de Santos.

Haase, R.; Nolte, U. 2008. The invertebrate species index (ISI) for streams in southeast Queensland, Australia. Elsevier. Ecological Indicators 8 (2008) 599 – 613

Li, L.; Zheng, B.; Liu, L. 2010. Biomonitoring and Bioindicators Used for River Ecosystems: Definitions, Approaches and Trends. International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference (ISEIS). Procedia Environmental Sciences 2 (2010) 1510–1524

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT-. 2010. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C. Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014. Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá, D.C. Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014. Guía técnica para la Formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C.: Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2018. Guía para el Ordenamiento del Recurso Hídrico Continental Superficial. Bogotá, D.C.: Colombia.

# **ID-039: PLANIFICACIÓN HÍDRICA Y GOBERNANZA DEL AGUA: SU IMPLEMENTACIÓN EN LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO AMECAMECA Y EN EL PUEBLO DE TECÁMAC DE FELIPE VILLANUEVA, VALLE DE MÉXICO**

Moisés Gerardo Hernández Cruz<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Consultor independiente (ingeniero civil, especialista en hidráulica, maestro en gestión integral del agua), Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México, ingmghc@outlook.com

## **RESUMEN**

El resumen consiste en la implementación parcial de la tesis propia de maestría en gestión integral del agua, en el Plan para el acceso equitativo y sustentable de agua y saneamiento (PAESA) del Sistema de Agua Potable de Tecámac, Estado de México A.C. (SAPTEMAC). En la tesis se hace un análisis de la planificación hídrica (PH) y Gobernanza del Agua (GA) aplicados en la Subcuenca Hidrográfica del Río Amecameca (SHRA). La metodología es cualitativa a partir de un análisis de política pública, y de las evidencias de GA en la cuenca. El marco teórico, conceptual y jurídico se basó en la teoría de planeación, planeación hídrica, gestión integral del agua y gobernanza del agua, con la propuesta de una definición de planificación hídrica:

“Un ciclo dinámico entre las intervenciones y su implementación para satisfacer las necesidades antropogénicas y ecosistémicas de agua, actuales y futuras, con base en el ciclo hidrológico; las intervenciones sobre el agua deberían generarse desde la sociedad civil hasta las instituciones, o viceversa, pero en ambos casos, en ser eficaces en la consecución de objetivos compartidos. Por otro parte, su implementación debería aplicarse desde la parte alta hasta la parte baja de la cuenca hidrográfica; de lograr esta interacción dinámica se contribuiría al equilibrio entre el estado, la sociedad civil, la economía y el ambiente, es decir, en fortalecer la gobernanza del agua y la gestión integral del agua”.

Los principales hallazgos de la investigación en la SHRA, se relacionan con las dificultades inter e intrainstitucionales que enfrenta la CONAGUA para implementar la GIRH; la desatención a la gestión social del agua en las localidades; y la limitada participación de la sociedad civil en los procesos de la PH.

La implementación, es el PAESA del SAPTEMAC. SAPTEMAC, es un organismo operador social, de elección popular mediante asamblea de usuarios cada cuatro años, y con una rendición de cuentas anual. El proceso fue participativo entre SAPTEMAC y sus usuarios, para lograr la apropiación social del plan y conllevar a su implementación a corto, mediano y largo plazo. El reto principal para la ejecución del plan, es el financiamiento, ya que SAPTEMAC, no recibe presupuesto del erario; por lo que es una propuesta, de varias, para el actual momento coyuntural de generación de una Ley General de Aguas en México, como un mecanismo para garantizar el derecho humano al agua y contribuir a la seguridad hídrica.

**Palabras clave:** Planificación hídrica, gestión social del agua, apropiación social, derecho humano al agua y saneamiento.

## **1 INTRODUCCIÓN**

El presente artículo consiste en la implementación parcial de la tesis propia de maestría en gestión integral del agua que concluí en el año 2016 denominada “Planificación hídrica y gobernanza del agua: su implementación en la subcuenca hidrográfica de río Amecameca del Valle de México” en el “Plan para el acceso equitativo y sustentable de agua y saneamiento (PAESA) del Sistema de Agua Potable de Tecámac, Estado de México A.C.



(SAPTEMAC), que realicé en el año 2018. La Subcuenca<sup>1</sup> Hidrográfica del Río Amecameca (SHRA), se ubica al suroriente en la parte alta de la Cuenca del Valle de México (CVM) en el Estado de México, ver mapa 1<sup>2</sup>.

Mapa 1 Ubicación de la SHRA en la CVM.



Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth.

El SAPTEMAC, ver figura 1, brinda el servicio de agua a los habitantes de la localidad de Tecámac de Felipe Villanueva, del municipio de Tecámac, Estado de México, ubicado ligeramente al centro y norte de la Cuenca del Valle de México, ver mapa 2.

Figura 1. Logo del SAPTEMAC.



Mapa 2 Ubicación del pueblo de Tecámac de Felipe Villanueva.

<sup>1</sup> Actualmente la cuenca, es la unidad de gestión y planeación de los recursos hídricos como se indica en el artículo 3, fracción XVI de la Ley de Aguas Nacionales (LAN).

<sup>2</sup> El parteaguas de la CVM, se obtiene de planos hidrológicos como resultado del apoyo a la tesina de especialidad en hidráulica, que elaboré en el año 2012. El parteaguas de la SHRA se trazó arbitrariamente con apoyo del “Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas” del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).





Fuente: Google maps, elaboración propia.

Ahora bien, el marco teórico, que se describe ampliamente en la tesis de maestría, se centró en la teoría de la planeación y el análisis de los conceptos de planificación hídrica, gestión integral del agua y gobernanza del agua, de tal manera que se estructuró una conceptualización operativa e integral de planificación hídrica (figura 1.1) como:

Un ciclo dinámico entre las intervenciones y su implementación para satisfacer las necesidades antropogénicas y ecosistémicas de agua, actuales y futuras, con base en el ciclo hidrológico; las intervenciones sobre el agua deberían generarse desde la sociedad civil hasta las instituciones, o viceversa, pero en ambos casos, en ser eficaces en la consecución de objetivos compartidos. Por otro parte, su implementación debería aplicarse desde la parte alta hasta la parte baja de la cuenca hidrográfica; de lograr esta interacción dinámica se contribuiría al equilibrio entre el estado, la sociedad civil, la economía y el ambiente, es decir, en fortalecer la gobernanza del agua y la gestión integral del agua.

Figura 1.1 Conceptualización de la planificación hídrica.



Fuente: Elaboración propia.



La planificación hídrica en la zona de estudio de la SHRA, esta manifestada por dos planes hídricos, que por orden de publicación<sup>3</sup> son:

- ◆ “Plan Hídrico de las Subcuencas Amecameca, La Compañía y Tláhuac-Xico” de la Comisión de Cuenca de los ríos Amecameca y la Compañía (CCRAYC), 2011.
- ◆ “Plan Hídrico de Gran visión para la Cuenca de los ríos Amecameca y La Compañía, Estado de México” del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM), 2011.

Y, actualmente, se ha implementado la propuesta de “Planes Hídricos Integrales” a nivel de cuenca hidrográfica de la tesis de maestría, a nivel local en la gestión comunitaria del agua mediante el “Plan para el acceso equitativo y sustentable de agua y saneamiento del Sistema de Agua Potable de Tecámac, Estado de México A.C.”

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de investigación, para la tesis de maestría, se basó en una estancia de investigación en la dirección de Planeación del Organismo de Cuencas Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua, y un trabajo de campo en la zona de estudio en conjunto con la Comisión de Cuenca del Río Amecameca y La Compañía A.C. Durante este tiempo se realizaron entrevistas a usuarios de la Conagua y a especialistas en el sector hídrico, así como encuestas a la sociedad civil. La información recopilada, fue insumo suficiente para la evaluación cualitativa y discusión teórica de los resultados de la hipótesis de investigación.

El análisis comparativo de los planes hídricos como política pública, se basó en la propuesta de Jaione Mondragón (2003:5), que contempla los siguientes incisos:

- a) Análisis de las formas de aplicación del Plan (formas de gestión)
- b) Descripción de los principales resultados alcanzados con su aplicación
- c) Apreciación general del grado de realización de los objetivos directos e indirectos, implícitos o explícitos, previstos en cada uno de los programas.
- d) Valoración general del plan, a la vista de las diferentes conclusiones relativas a su especificidad y contenido en el contexto general.

En el caso, del PAESA del SAPTEMAC, se realizó una recopilación de la información técnica y administrativa del SAPTEMAC, con base en los lineamientos del Diagnóstico Integral de Planeación (DIP) de la Comisión Nacional del Agua, agregando capítulos de diagnóstico social, por medio de encuestas a los usuarios del SAPTEMAC, y apropiación social, mediante presentaciones al comité administrativo y de representación de usuarios, y en la asamblea general de usuarios.

## 3 RESULTADOS

---

<sup>3</sup> El plan hídrico de la CCRAYC, señala que el plan hídrico del OCAVM, iba a ser entregado en 2010 y que, hasta mayo de 2011, “sus productos no han sido presentados a la Comisión de Cuenca” (CCRAYC, 2011:204).

La política pública de la GIRH y los planes hídricos en el sentido de la planificación hídrica es limitada de la participación de la sociedad civil, ya que se tiene que organizar primero para participar por medio del CCVM. Es preciso señalar que los planes hídricos, son más precisos a nivel de subcuenca e innovadores, comparados con los programas hídricos regionales y el programa hídrico nacional.

En los planes hídricos se tiene una mayor vinculación social, por ejemplo, la CCRAC creó sectores sociales, más sin embargo el OCAVM no consideró la participación del CCVM, y por ende la CCRAC. En primera instancia, la metodología de Mondragón (2003), de evaluación de política pública, sometió a un equivalente criterio de análisis y comparación arbitraria entre los planes hídricos de la CCRAVC y el OCAVM, realizados en el año 2011. Con juicios particulares y de terceros (entrevistas) se tiene que, su diseño, objetividad, operatividad e implementación, son de escasa apropiación social de sus acciones, dadas sus metodologías participativas limitadas, objetivos y acciones sin consenso general como lo sería su especificidad social (servicios públicos), y criterios políticos de poco o nulo financiamiento a los planes hídricos.

Por lo que, la política pública de la GIRH, limita su principal elemento: “las libertades ciudadanas” (Aguilar, 1992:29).

En este sentido, los hallazgos de investigación y las propuestas se desglosan, en relación con la “hipótesis de investigación”, con base en los resultados de las entrevistas y encuestas, y la discusión teórica, que conllevo a generar dos anexos denominados: Planificación hídrica internacional y Antecedentes históricos de la gestión del agua en la cuenca del Valle de México.

Los hallazgos de la investigación, con respecto al análisis de la participación social y la hipótesis, que dicta “la escasa participación social” (hipótesis de investigación) son:

1. La limitada participación social en los mecanismos de consulta de los planes hídricos.
2. La exclusión de usuarios de la CONAGUA y la gestión social del agua de los planes hídricos y de la programación hídrica regional.
3. Existe intención por parte de la sociedad civil en participar en la planificación hídrica, sin embargo, predomina el desconocimiento.
4. La incongruencia del diseño e implementación del “Foro de Consulta” realizado por el Organismo de Cuenca, del PHR RHA XIII.
5. La omisión del objetivo no. 7 del taller ZOOP4 (Ziel – Orientierte Project – Planung: Planeación de Proyectos Orientada a Objetivos) en el plan hídrico del OCAVM, la “aplicación de la ley”.
6. Con base en los resultados se formula la siguiente propuesta: Aumentar la representatividad de los usuarios público – urbanos en los mecanismos de consulta y la contraloría social de la Conagua.

En el caso de los instrumentos operativos de la planificación hídrica, los hallazgos indican que son ineficientes y contradictorios en “las dificultades intrainstitucionales de implementar la política pública de los planes hídricos y la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos” (Idem) dado que se tienen:

1. Dos planes hídricos elaborados por la CONAGUA, Organismo de Cuenca y Comisión de Cuenca, en el mismo sitio.
2. Observaciones los títulos de los usuarios de la CONAGUA en el Registro Público de Derechos de Agua.

---

<sup>4</sup> En el caso del plan hídrico del OCAVM, se utilizó el mecanismo de consulta apoyado en el taller ZOOP. El taller ZOOP tuvo la participación de funcionarios de la CONAGUA, Estado de México, Ayuntamientos, autoridades auxiliares, “concesionarios del agua y ONG’S”, con dos sesiones de trabajo: 19 y 20 de noviembre, y 3,4 y 5 de diciembre del año 2008; moderado por el personal de planeación del OCAVM, así como la intención fallida de una tercera reunión en el año 2010 (OCAVM e, 2011:4). La metodología se resume en la identificación del problema central es el “deterioro de calidad de vida”, en el que se relacionan las causas y efectos del agua; un análisis de intereses de cada participante; la matriz de planeación que consta de objetivos, indicadores, fuentes de verificación y supuestos importantes; y la planeación operativa señalando las actividades, procedimientos, resultados, fecha de ejecución, responsable de ejecución en el que es protagónico la comisión de cuenca, y las instituciones de apoyo como CONAGUA (OCAVM e, 2011:19-41).



3. Incongruencias de la delimitación territorial y atribuciones de Consejos de Cuenca y Organismos de Cuenca y su afectación a la localidad de Zoyatzingo, Amecameca.
4. Resistencia de las direcciones locales en la programación hídrica y la adopción de la política pública de la GIRH.
5. Autonomía sesgada de los Organismos de Cuenca, en específico, de su Organismo de Cuenca Operador, el OCAVM.
6. La actual reestructuración de la CONAGUA y la transición de administración del CCVM.
7. Por lo que, se propone reorganizar las instituciones con visión de cuenca hidrográfica.

Por último, “las dificultades interinstitucionales de implementar la política pública de los planes hídricos y de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos” (Idem) son:

1. El desconocimiento de la política pública de la GIRH en la legislación del agua del Estado de México, y en los municipios y localidades.
2. La apropiación del agua de bienes comunales por la CONAGUA, en la asignación de derechos a los municipios de Amecameca y Ayapango.
3. El protagonismo legal, irregular e ilegal de la Comisión de Aguas del Estado de México.
4. El no reconocimiento federal de la gestión social del agua.
5. Por lo que se sugiere, la incorporación de la gestión social del agua al régimen fiscal de la CONAGUA como “Usuario social – rural”; y la inclusión de la gestión social del agua en la planificación y programación hídrica Nacional, Estatal y Municipal.

Con base en el marco conceptual de planificación hídrica, análisis y discusión de resultados, se propone una política pública hídrica mediante “Planes Hídricos Integrales”, que considere la participación social en la planificación hídrica, y la participación social en los protocolos de operación de infraestructura hídrica de servicios públicos.

Es importante abordar el tema del modelo de la Nueva Administración Pública<sup>5</sup> (NAP), como una política global. El modelo neoliberal de la NAP en México, ha sido tentativamente evaluado, por medio de un indicador propuesto denominado “Índice de Nueva Gerencia Pública” (Martínez, 2009:216), y pone en evidencia que, “no ha tenido el impacto esperado sobre el mejoramiento del desempeño de las administraciones públicas” (Idem). Otro argumento es el que señala Cristina Asa Laurell (2013), al existir contradicciones conceptuales en su implementación política, por ejemplo, las “reformas estructurales” “bajo la forma de privatizaciones directas o con la introducción a raja tabla de incentivos, la flexibilización del empleo con la destrucción de contratos colectivos y las asociaciones público-privadas, por mencionar algunos”.

En el caso del sector hídrico, el agua como un recurso natural común es un vínculo de integración y acuerdos políticos y sociales en pro del ambiente y la vida. El reto actual en México es el cumplimiento del Derecho Humano al Agua, que es sui géneris en nuestro país por el hecho de mencionar la “participación ciudadana para la consecución” (Artículo 4, párrafo quinto, Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos). Ante esta

---

<sup>5</sup> La “Nueva Gerencia Pública” (Martínez, 2009), o New Public Management, es un modelo neoliberal de los países desarrollados en la reconfiguración del aparato estatal (CLAD, 1997:7) considerado “un paradigma de la administración que se caracteriza por adaptar herramientas de la gestión empresarial al manejo de los asuntos públicos, y que propugna por la prestación de servicios más ajustados a las necesidades de los ciudadanos con un enfoque de eficiencia, competencia y efectividad de la satisfacción de las demandas sociales” (Navas, 2010:37), cuatro categorías en la “especificidad de la naturaleza de los servicios prestados por el Estado, los cuales deben apuntar a asegurar el bienestar general y garantizar el cumplimiento de los derechos de los ciudadanos” (Ibid).

situación, se presentan diversas oportunidades, y con un enfoque optimista la propuesta de política pública hídrica de “Planes Hídricos Integrales”.

Por lo que la propuesta de política pública de “Planes Hídricos Integrales”, tiene varios elementos que dimensionan su factibilidad en la zona de estudio, como son la buena gobernanza del agua en la gestión social del agua y la voluntad social de participar en la descontaminación del río, propiciado por la acción gubernamental y social de planes hídricos en el año 2011, por medio del OCAVM y la CCRAC de la CONAGUA. Un caso de éxito de planes participativos son los: planes hidrológicos de España; ya que su proceso de elaboración y posterior actualización es de cuatro años, y el objetivo común es satisfacer las demandas de los usuarios y mantener el buen estado de las masas de agua (R. Galván, comunicación personal, 03 de agosto de 2016), aquí en México sigue imperando el objetivo de satisfacer las necesidades antropogénicas del desarrollo económico, delegando la conservación de los ecosistemas, como es la evidente contaminación del río Amecameca.

La implementación, de la propuesta de planes hídricos integrales, se realizó de forma local, mediante el plan para el acceso equitativo y sustentable del Sistema de Agua Potable de Tecámac, Estado de México A.C (SAPTEMAC). SAPTEMAC, es un organismo operador social, de elección popular mediante asamblea de usuarios cada cuatro años, y con una rendición de cuentas anual. El proceso es participativo entre SAPTEMAC y sus usuarios, para lograr la apropiación social del plan y conllevar a su implementación a corto, mediano y largo plazo. En términos generales la eficiencia física es del 48 % y la comercial del 50 %, el reto es lograr el 95 % en ambas en 20 años. Las acciones para realizarlo consideran el aumento de la demanda de agua potable, así como la recuperación de caudales en la red, el mejoramiento de la atención al usuario, etc. La apropiación social se realizó mediante la participación de usuarios en la elaboración y presentación mediante asamblea el plan integral.

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Por lo que, a manera de reflexión general, se deduce que el plan de la CCRAC tiene un enfoque de manejo de cuencas, y el plan hídrico del OCAVM un enfoque agropecuario, posiblemente se deba al enfoque de las instituciones que colaboraron en los planes hídricos: “El Centro para la Sustentabilidad Incalli Ixcachuicopa A.C.” (CENTLII) y “El Colegio de Postgraduados” de la Universidad de Chapingo, respectivamente. A los planes hídricos les falta mayor precisión local, como son las acciones de servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento, que brindan las instituciones públicas y sociales en cada localidad, para contribuir a una gestión integral del agua, participativa.

Ambos planes, ofrecen una metodológica de planeación participativa, rompiendo paradigmas con la planeación centralista de México, como ha recomendado Jorge Elizondo desde 1980 en México (marco teórico). Actualmente la planificación tiene un arraigo al centralismo por la priorización de acciones bajo criterios financieros y no sociales. Esta priorización es más importante, en la programación de presupuestos, lo cual ha llevado a no corregir los problemas públicos desde la raíz; solo a ejercer grandes obras y proyectos con visiones regionales que descuidan los problemas locales, que evidentemente son más sociales.

Es preciso señalar, que la “Política Hídrica Nacional”, es rígida en la actual LAN (Art. BIS 5 y 6) y no permite su actualización, como sucede con los Programas Hídricos Regionales, que son controversiales con el SNPD, ya que, en la LAN los PHR se integran a partir de los locales (Art. 15, fracción II) y el PNH también, por definición (Art. 3, fracción XLII), es decir, del nivel local al nacional, contrario a lo estipulado en la Ley de Planeación, a partir de un Plan Nacional de Desarrollo (PND) a los programas sectoriales, como es el PNH.



Un aspecto fundamental, es la razón de la planificación hídrica: en garantizar el desarrollo continuo de la humanidad, ante los retos de la naturaleza en el pasado, presente y futura, en específico, en el control y uso del agua. Los problemas de agua en la sociedad, son por el exceso o falta del vital líquido<sup>6</sup>. Una sociedad con base en la población<sup>7</sup>. Una variable que el desarrollo económico necesita que se aumente, por ser directamente proporcional al consumismo, por lo que, la planificación hídrica se tiene que ajustar al desarrollo, a recomendar el control de la población, a proponer un desarrollo urbano de acuerdo a la disponibilidad del recurso e implementar políticas de control de la demanda del agua, etcétera.

En el caso del PAESA, como propuesta local de los “Planes Hídricos Integrales”, el reto principal para la ejecución del plan, es el financiamiento, ya que SAPTEMAC, no recibe presupuesto del erario; por lo que es una propuesta, de varias, para el actual momento coyuntural de generación de una Ley General de Aguas en México, como un mecanismo para garantizar el derecho humano al agua y contribuir a la seguridad hídrica local. Por ello SAPTEMAC, marca la pauta de una propuesta de fortalecimiento de los comités de agua, ante las adversidades políticas, gubernamentales, y climáticas, entre otras.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a El Colegio de la Frontera Norte A.C., sede Monterrey, por brindar este posgrado innovador reconocido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, que cumplió mis expectativas, y espero que se siga fortaleciendo en la formación de más y mejores profesionales con visión transdisciplinaria en la gestión integral del agua. También, agradezco al actual comité del SAPTEMAC, por haberme dado la oportunidad de realizar el PAESA, como una estrategia de fortalecimiento de capacidades y requerimientos de la gestión comunitaria del agua, y que espero su implementación les de buenos resultados.

## 6. LITERATURA CITADA

Aguilar, Luis. 1992. La hechura de las políticas públicas. Segunda antología. México. Miguel Ángel Porrúa.

Centro Latinoamericano de Administración para el Desarrollo (CLAD). 1998. Una nueva gestión pública para América Latina, Consejo Directivo.

Comisión de Cuenca de los Ríos Amecameca y La Compañía (CCRAYC). 2011. Plan hídrico de las subcuencas Amecameca, La Compañía y Tláhuac – Xico, Comisión Nacional del Agua.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Última reforma publicada DOF 07-07-2014.

Ley de Aguas Nacionales. Última reforma publicada DOF 11-08-2014.

Martínez, 2009. La nueva gerencia pública en México. Una medición de su intensidad e impactos en las entidades del país. Convergencia, Revista de ciencias sociales, UAEM, núm. 49, enero – abril, pp. 199-227.

---

<sup>6</sup> “Porque al agua es vital y escasa, la planeación social y sistemática del recurso en las cuencas hidrológicas, es de inaplazable aplicación” (Salazar, 2006:141).

<sup>7</sup> “Porque el agua pertenece a la humanidad, su preservación es responsabilidad de todos” (Salazar, 2006:141).

Mondragón, 2003. La evaluación de los programas públicos: objeto, contenido y aplicación de diferentes instrumentos para la evaluación. Rafael Bañón, Compilador. La evaluación de la acción de las políticas públicas. Díaz de Santos, España. pp. 3-12.

Navas, 2010. La nueva gestión pública: una herramienta para el cambio. Perspectiva. Edición 23, pp. 36-38.

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM). 2011. Plan hídrico de gran visión para la cuenca de los ríos Amecameca y la Compañía, estado de México, Comisión Nacional del Agua.

OCAVM e, 2011. Taller ZOOP para la Comisión de Cuenca de los ríos Amecameca y La Compañía, estado de México, Comisión Nacional del Agua.

Salazar, 2006. Planeación del agua un enfoque social y sistémico. Agua, un derecho social, Secretaria de Educación Pública. IPN.



## **ID-105: PLATAFORMA DE PLANEACIÓN PARTICIPATIVA EN FAVOR DE LA MICROCUENCA DE RÍO CHIQUITO EN MORELIA, MICHOACÁN.**

Frida Isela MURILLO FRÍAS<sup>a</sup>, Raquel JIMÉNEZ ACOSTA<sup>b</sup>, Emilio CRUZ SÁNCHEZ<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Reforestamos México A. C., Ciudad de México, fridamurillo11@gmail.com

<sup>b</sup> Reforestamos México A. C., Ciudad de México, raquel.jimenezacosta@gmail.com

<sup>c</sup> Reforestamos México A. C., Ciudad de México, emilio.cruz.sanchez@gmail.com

### **RESUMEN**

Tener una mejor calidad de vida es el objetivo que mueve a las personas para realizar sus actividades cotidianas, las instituciones también deberían trabajar para mejorar la vida de quienes son sus destinatarios. Cada sector desde su perspectiva realiza actividades para mejorar las condiciones en las que se vive, sin embargo, la priorización de las necesidades y los resultados que se esperan no siempre pueden estar en la misma sintonía. Por ello, cuando se hace planeación, el diseño de políticas públicas y la búsqueda de la articulación institucional es indispensable, así como contar con herramientas y procesos que faciliten la participación de las personas e instituciones involucradas.

El presente caso hace referencia a la importancia de la participación multiactor para una planeación y gestión efectiva de la microcuenca del río Chiquito. Se trabajó en la construcción de una plataforma multiactor que sirviera para facilitar la cooperación y alineación de intereses, acciones y objetivos para generar un visión común en beneficio de todos mediante la elaboración de un plan de acción.

El reto en este proceso social fue mantener el interés de las personas que voluntariamente destinan tiempo para trabajar en conjunto, a través de la construcción de un plan de acción con la priorización de necesidades y la definición de actividades que favorecieran el trabajo de las personas en favor de mejorar las condiciones ambientales, sociales y económicas de la microcuenca del río Chiquito. Si esa planeación no se traduce en actividades concretas y resultados palpables, el esfuerzo que se ha realizado carecerá de todo sentido.

**Palabras clave:** Microcuenca, gobernanza, enfoque de cuencas, planeación territorial, plataforma multiactor.

### **1 INTRODUCCIÓN**

De acuerdo con el relieve, en Morelia se han identificado 18 microcuencas. De estas, la microcuenca del río Chiquito es la de mayor extensión y su importancia reside en que durante décadas la ciudad fue abastecida por las aguas de este río, además de que alberga aproximadamente el 30% de la población y 5 de las 8 ANP de carácter estatal de todo el municipio; esto representa una zona de transición entre actividades económicas e impactos generados. Debido a esto, se tomó este caso de estudio para la generación de un modelo de involucramiento social para la planeación con enfoque de cuenca que integra los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones, el cual busca definir las estrategias para garantizar la integridad de los ecosistemas y aumentar la calidad de vida de quienes habitan la microcuenca.

En ese sentido, se parte de la hipótesis de que el involucramiento social resultaría en soluciones plenamente consensuadas entre actores locales, y que, por tanto, esto detonará una efectiva implementación de la política pública con soluciones acertadas a diferencia de un proceso llevado a cabo específicamente por el sector gubernamental -sin participación multiactor-. Cabe mencionar que, aunque en este proyecto uno de los productos principales es un Plan de acción para el manejo integral de la microcuenca, el entregable final es una guía de buenas prácticas con las lecciones aprendidas y recomendaciones generadas durante todo el proceso.

El proyecto se enmarca en el programa de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ, por sus siglas en alemán) sobre Protección del Clima en la Política Urbana de México (CiClim), el cual tiene por objetivo mejorar la concepción e implementación de políticas, estrategias y medidas de la protección climática en la política urbana mexicana en los tres niveles de gobierno integrando la valoración de servicios ecosistémicos en instrumentos de desarrollo urbano, así como en procesos de decisión política.



Las organizaciones líderes fueron Reforestamos México como facilitador, GIZ como financiador y el Instituto Municipal de Planeación como contraparte local.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Antes de profundizar en los métodos particulares que se utilizaron en este proceso involucramiento social para la planeación territorial, es conveniente señalar que el equipo consultor y facilitador de Reforestamos condujo el trabajo de este proyecto con base en las orientaciones teórico-conceptuales, por una parte, del enfoque de cuencas y, por otra, de la gobernanza, esta última por coincidir en gran medida con las implicaciones de adoptar un enfoque de cuencas para el manejo de un territorio.

El enfoque de cuencas permite reconocer la complejidad del territorio, donde “[...] la gestión territorial parte de un análisis del territorio que integra todos sus componentes (no sólo el agua).” (Cotler et. al, 2013, p.17) y, por lo tanto, el manejo integral como proceso para la atención de los problemas presentes y que se encuentran interrelacionados hace necesaria la cooperación entre actores diversos (*Idem*, p. 16). Es en este último aspecto donde la adopción del enfoque de la gobernanza resulta útil para situar las formas en que tal cooperación puede llevarse a cabo. Tomando como referencia a autores como Mayntz (2001) y Bevir (2010), actualmente, la gobernanza se puede entender como una forma de gobernar en la que los actores estatales y no estatales se vinculan a través de redes para la elaboración de la política pública, permitiendo una mayor efectividad para solucionar los problemas a los que se dirige.

Como ya se mencionó, el caso que se presenta se encuentra enfocado en el involucramiento social para la planeación del manejo integral de la microcuenca, por lo que en esta sección se profundizará en las actividades y métodos que se emplearon para garantizar un proceso que se mantuviera dentro del marco del enfoque de cuencas y su manejo integral y del entendimiento de la gobernanza como medio para procurar un instrumento de planeación que pueda implementarse de manera más efectiva y cumplir con sus objetivos hacia la microcuenca.

Partiendo de que previo al ejercicio de planeación es esencial contar con el diagnóstico de una cuenca, en este caso, para la microcuenca del río Chiquito se contaba con suficiente información, incluyendo un diagnóstico elaborado por el IMPLAN Morelia, así como un par de documentos con iniciativas en torno a la mejora de áreas subyacentes al río en la sección ubicada en la ciudad de Morelia, entre otros documentos que referían problemáticas y acciones en la microcuenca. Lo que se hizo entonces para preparar el proceso de planeación para el manejo integral de toda la microcuenca e identificar a los actores que se buscaría involucrar fue sistematizar tal información con el fin de obtener los insumos que facilitarían el trabajo que se emprendería posteriormente.

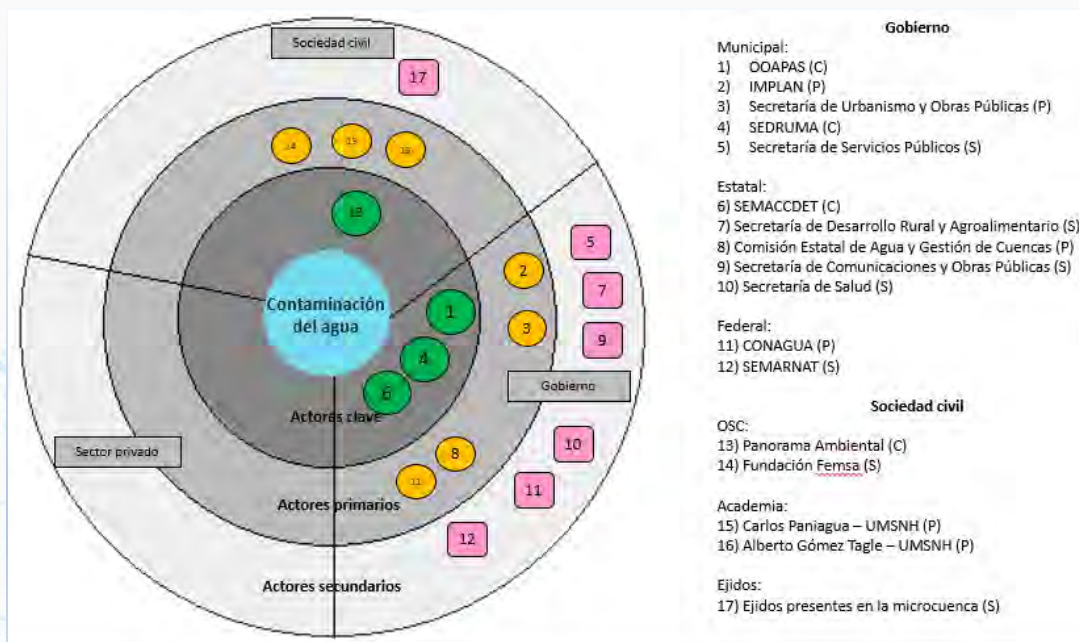
De esta manera, además de la información secundaria con la que ya se contaba, se tomó información primaria recabada durante un recorrido por la microcuenca, así como de un par de reuniones con el personal del IMPLAN para ser sistematizada con apoyo de la metodología del árbol del problema, por plantearse una de las formas de “desmenuzar” y organizar las problemáticas presentes en vinculación con sus causas y efectos ya que, como se plantea en esta metodología, los problemas, sus causas y efectos tienden a confundirse y verse como un sinfín de problemáticas, siendo que más bien algunos actúan como causas y otras como consecuencias, pero prácticamente todos guardan una interrelación (FAO, 2004). Por consecuencia, un entendimiento integral de las problemáticas de la microcuenca facilitaría la identificación de soluciones que se traducirían en las actividades factibles para el manejo integral de la microcuenca que integrarían su Plan de acción.

La sistematización de información permitió, al mismo tiempo, realizar una de las tareas más importantes para determinar quiénes serían los actores que se procuraría involucrar al proceso: un mapeo de los actores que inciden en la microcuenca. En ese sentido, se consideró que la incidencia se daba por actores que viven en ésta y, por tanto, son potenciales beneficiarios de la implementación de un instrumento de planeación para su manejo integral; que realizan actividades que la impactan; que cuentan con información y experiencias útiles para su manejo; o, que tienen atribuciones legales vinculadas a ésta. Sin embargo, para hacer una distinción sobre los principales actores que debía buscarse su involucramiento para la planeación del manejo integral se utilizó la herramienta de diagramas de cebolla sugerida por el modelo de gestión *Capacity Works* de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ, por sus siglas en alemán) (GTZ, 2009). Estos diagramas permiten ubicar a los actores dentro de círculos concéntricos que representan su nivel de incidencia con respecto, en este caso, a siete problemáticas principales que resultaron de la utilización de la metodología del árbol del problema. Además,



permiten ubicarlos de acuerdo con su clasificación en diversos sectores. A continuación, en la figura 1, se presenta como ejemplo el diagrama que esquematiza el mapeo de actores resultante con respecto a la problemática de la contaminación del agua.

**Figura 1.** Diagrama de cebolla para el mapeo de actores. Fuente: elaboración propia.






Como se observa, los actores fueron ubicados dentro de tres sectores: gobierno, sociedad civil y sector privado. Cabe destacar que, los actores identificados que arrojó la sistematización fueron agrupados en tales categorías de acuerdo con los siguientes criterios:

- *Sector gobierno:* contempla instancias del gobierno municipal, gobierno estatal (incluyendo Consejos Estatales que funcionan como mecanismos de participación ciudadana, institucionalizados y con participación mixta de sociedad civil y gobierno) y gobierno federal.
- *Sector sociedad civil:* considera academia, organizaciones de sociedad civil (incluyendo fundaciones de empresas y Consejos Ciudadanos), así como ejidos.
- *Sector privado:* considera fundamentalmente inmobiliarias y la Cámaras Industriales.

Además, su distribución del centro hacia afuera corresponde a su nivel de incidencia, donde el círculo concéntrico más cercano al núcleo es el nivel más alto, por lo que se establecieron los siguientes criterios (cuadro 1) para distinguir entre actores clave, primarios y secundarios:

**Cuadro 1.** Criterios para la clasificación de los actores de acuerdo con su nivel de incidencia. Fuente: elaboración propia.

	<b>Actor clave:</b> su participación es ineludible debido a que: <ul style="list-style-type: none"><li>✓ En el caso de actores de gobierno, tienen atribuciones directas para la solución de la problemática, presupuesto o personal.</li><li>✓ Tienen líneas de acción</li><li>✓ Participan en la toma de decisiones</li><li>✓ Generan o poseen información especializada por lo que su participación es fundamental.</li><li>✓ Son afectados o beneficiarios directos</li></ul>
	<b>Actor primario:</b> su participación es importante debido a que: <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Tienen atribuciones indirectas que contribuyen con las soluciones de la problemática.</li><li>✓ Poseen información relevante.</li></ul>
	<b>Actor secundario:</b> su participación es deseable debido a que: <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Tienen atribuciones que pueden influir en las soluciones de la problemática.</li><li>✓ Cuentan con algún tipo de recurso o realiza acciones que facilitan la implementación de soluciones.</li></ul>

Otra de las herramientas que se construyeron a partir de la compilación y sistematización de información sobre la microcuenca fue un “Catálogo de actividades factibles para el manejo integral de la microcuenca”. Dicho documento recuperó tanto actividades que ya suceden en la microcuenca, como aquellas que han surgido de propuestas de proyectos y de otros instrumentos de política pública del municipio, del estado e incluso de la federación y que se alinean a las temáticas de los problemas que afectan a la microcuenca. Esta herramienta se pensó como un menú de actividades con potencial de implementación, a partir de la cual los actores involucrados no partieran de cero y realizaran una selección preliminar que sentará las bases del Plan de acción.

Una vez terminadas las tareas preparativas, la primera convocatoria a los actores fue para desarrollar un taller que funcionara como espacio de aproximación entre ellos y primer paso del proceso de planeación. En concordancia con el enfoque de cuencas en el que se busca garantizar la integralidad del territorio, el involucramiento que se promovió desde el principio tuvo como objetivo motivar la cooperación entre actores y sectores, conciliando intereses hacia un Plan que fuera construido en la medida de lo posible sobre consensos y hacia una visión común de lo que se quería para la microcuenca.

Es en tal sentido que, a diferencia de las reuniones de tipo informativas o consultivas o de reuniones con cada sector por separado, un taller con participación multisectorial, en el que el trabajo estuviera enfocado en la interacción entre quienes participaron, en sus aportaciones y en ejercicios deliberativos permitiría un ecosistema colaborativo y una aproximación más efectiva para que el involucramiento fuera entendido como una participación proactiva, donde los actores fueran los hacedores del Plan de acción.

Fue a partir de este primer taller que también se sentaron las bases para la creación de una “plataforma multiactor” como espacio -o red de gobernanza- en el que los diversos sectores participantes colaboraran y se coordinaran hacia el objetivo de elaborar el Plan de acción y dar los primeros pasos en la implementación de actividades. Así, la periodicidad, duración y sede las reuniones posteriores para el seguimiento del proceso fue determinada entre los participantes, buscando mantener la apertura a la participación de actores clave que no hubieran participado desde el primer taller.

Para facilitar la coordinación y comunicación de la plataforma se integró una Secretaría Técnica, que en un primer momento se integró de manera voluntaria por el IMPLAN y por la Secretaría de Desarrollo Rural y Medio Ambiente (SEDRUMA) de Morelia, uniéndose posteriormente dos nuevos actores de la sociedad civil: Mi Cuenca Río Chiquito, A.C. y un ciudadano, habitante de la microcuenca. Asimismo, ya con un grupo nutrido de actores y con una selección preliminar de actividades para integrar el Plan de acción, se formularon Grupos de trabajo temáticos para profundizar en la definición de actividades, acciones específicas, su priorización e indicadores para



el monitoreo y evaluación. Tras el taller se tuvieron cinco reuniones mensuales de la plataforma, así como dos ocasiones principales en las que se organizaron reuniones para los Grupos del trabajo, una tras la 3ª reunión mensual y otra tras la 4ª. Es importante resaltar que se realizaron dinámicas para permitir que los actores participaran como protagonistas de las reuniones y que fueran ellos quienes pudieran discutir y tomar decisiones alrededor del manejo integral de la microcuenca. Aunque Reforestamos se encargó de la redacción de los primeros borradores del Plan, en todo momento se buscó reflejar los acuerdos de los actores. Asimismo, gracias a la constante comunicación de la ST, la GIZ como cooperante del proceso y asesor técnico en varios momentos, y Reforestamos, la orientación de cada reunión se llevó a que las dinámicas sirvieran al propósito de involucramiento de los actores, entendido como una apropiación del proceso. Ejemplo de ello, fue que a partir de la tercera reunión fueron los Grupos de trabajo quienes presentaban a sus pares los avances de su labor para recibir retroalimentación y que ya en las últimas reuniones fuera la ST quien tomara la facilitación de las dinámicas de trabajo.

Finalmente, para la evaluación del proceso, en el primer taller y a mitad del proceso, se aplicaron encuestas a los actores de la plataforma para recabar información que diera cuenta del involucramiento buscado. También, tras cada reunión se elaboraron memorias que incluyeran reflexiones sobre los avances, retos y obstáculos identificados y, se realizó un taller final para llevar a cabo una evaluación participativa de todo el proceso de involucramiento. Con estos insumos fue posible elaborar una “Guía de buenas prácticas para el involucramiento social en procesos de planeación territorial con enfoque de cuenca”, ya que, atendiendo nuevamente al enfoque de cuencas, podría ser arriesgado hablar de un modelo, sobre todo considerando que este trabajo se basa en una sola experiencia y más bien se puede hablar de buenas prácticas que deben adaptarse y considerar las particularidades de cada cuenca.

### **3 RESULTADOS**

Durante cada etapa del proceso de involucramiento se pudieron sistematizar las experiencias con la finalidad de obtener aprendizajes que abonaran a la mejora de las etapas sucesivas, identificando obstáculos y posibles soluciones de mejora para garantizar la continuidad de los actores locales en el proyecto y las buenas prácticas para el manejo de la microcuenca.

En cuanto al mapeo de actores, se promovió el equilibrio de los distintos sectores sociales, logrando evitar el predominio de un solo sector que acaparara la participación social. Sin embargo, aunque en el mapeo de actores contempló diversas instituciones gubernamentales y no gubernamentales, la falta de contactos a nivel personal – y no institucional- representó por sí mismo un primer obstáculo para su involucramiento. Esto, debido a que, aunque en el mapeo se contemplaron todos los actores que han asistido hasta el momento, el no contar con datos de contacto específicos comprometió su participación desde el primer taller. Es necesario resaltar que los propios actores fueron

En este caso, existieron dos estrategias mediante las cuales se logró el involucramiento: 1) los primeros actores que participaron, al conocer el proceso y sus objetivos, invitaron directamente a actores con quienes mantienen un vínculo cercano y que consideraban que contaban con información, experiencia e interés para participar y, 2) la generación de entrevistas como medio de aproximación con los sectores OSC, academia y sector privado contribuyó a que el sector academia participara activamente en algunas reuniones y contara con la información disponible para su continuidad en el proyecto.

En cuanto al taller participativo, se convocó a actores de todos los sectores sociales bajo la lógica de que el enfoque de cuenca requiere de una participación multisectorial para la planeación efectiva del manejo del territorio. Sin embargo, se identificó la ausencia de OSC, academia y sector privado a pesar de haber implementado estrategias de aproximación y convocatoria para lograr su involucramiento.

Ya durante el proceso se incorporaron actores que no habían asistido, por lo que el reto fue garantizar su inclusión con toda la información y herramientas necesarias para promover su efectiva participación en etapas avanzadas. En ese sentido, uno de los comentarios más recibidos fue la falta de información actualizada, como en el caso del Plan de acción o los acuerdos generados en cada reunión, lo cual, según los propios actores pudo haberse subsanado también mediante una mejor estrategia de convocatoria.

Un caso particular fue la asistencia de un ciudadano no perteneciente a un grupo social cuya participación hasta el momento ha sido pieza fundamental, ya que actualmente juega un papel de líder en el proceso. Esto se debió a que el proyecto fue publicado en las redes sociales del Instituto Municipal de Planeación y la información llegó a nuevos actores.

Una de las experiencias resultantes del taller participativo fue la conformación de una plataforma multiactor que contara con respaldo institucional con el fin de fortalecer la posibilidad de asistencia a todas las reuniones y la dedicación de tiempo a la realización de tareas específicas.

Tras la integración de la plataforma se observó la detonación de intercambio de información de interés para algunos actores en particular o para todo el grupo, así como el acercamiento y la identificación de áreas de oportunidad para colaboraciones o socialización de eventos, talleres y convocatorias en beneficio de la microcuenca. Todo esto favoreció la integración de una Secretaría Técnica conformada por el sector gubernamental y no gubernamental.

De acuerdo con los participantes, una estrategia exitosa fue la conformación de grupos de trabajo temáticos que permitieran sentar las bases para el Plan de acción para el manejo de la microcuenca. El trabajo coordinado de los grupos se logró debido a que estos establecieron reuniones puntuales y socializaron la información sobre el avance del proceso en plenaria.

Durante las reuniones de los grupos de trabajo, los integrantes lograron validar y en su caso complementar las propuestas de actividades factibles para el manejo de la microcuenca, enriqueciendo cada vez más el Plan de acción. Esto tuvo rezagos en algunas secciones del Plan, debido a la ausencia de actores clave que contaban con información o atribuciones para implementar actividades o acciones específicas, aun cuando se buscó el contacto por medio de entrevistas y a través de los propios actores locales.

Además, para el tema de la evaluación de la implementación de acciones no se logró la elaboración de indicadores en ninguno de los grupos de trabajo, ya que, aseguraron que los recursos económicos fueron un factor limitante para comenzar a implementar acciones prioritarias; a pesar de esto, se observó un reporte informal de actividades mediante los canales de comunicación, como es el caso del chat de Whatsapp. La ausencia de actores clave, antes mencionada, propició que los actores involucrados hasta el momento dedicaran la mayor parte del tiempo – limitado en muchas ocasiones- en la validación y complementación de acciones, y, por tanto, no pudieran concluir la elaboración de indicadores.

Sin embargo, es de suma importancia resaltar que, aunque hasta esta fecha el Plan de acción no se ha concluido, el proceso continúa bajo el liderazgo de diversos actores que han jugado un rol importante en el proyecto.

Por otro lado, uno de los principales temas de relevancia para todo el proceso, según los propios actores, es la comunicación interna, misma que favoreció el intercambio y actualización de información. En ese sentido, se optó por compartir los documentos actualizados para promover la preparación de los actores previo a las reuniones y motivar su involucramiento activo.



Finalmente, uno de los principales factores que dificultaron la asistencia fue la complejidad de agendas de los actores, por lo que se observaron asistencias intermitentes y, en consecuencia, complicaciones en el seguimiento de acuerdos y tareas a realizar.

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Al cierre de este proceso de involucramiento facilitado y acompañado por Reforestamos y la GIZ, se considera que la plataforma multiactor y los grupos de trabajo habían logrado apropiarse del Plan de acción y se encontraban en la etapa final de su elaboración, manteniendo una comunicación y reuniones constantes.

Por su parte, el equipo de Reforestamos realizó la evaluación del proceso completo para identificar los hallazgos más relevantes de la implementación de este proyecto, así como las recomendaciones que sirvieran a la Guía de buenas prácticas, con aprendizajes que pueden ser considerados en otras cuencas que busquen hacer un involucramiento multiactor y multisector, entendido como una participación proactiva en la planeación territorial.

En tal sentido, en primer lugar, es fundamental considerar que el trabajo multiactor conlleva reconocer el potencial de conflicto por los interés contrapuestos que puedan existir entre los actores, por lo cual se tiene que la realización del primer taller como el primer espacio de coincidencia de los diversos sectores fue un acierto que, junto con dinámicas adecuadas para promover su interacción hacia un sentido de cooperación, favoreció crear el ambiente colaborativo necesario para que los actores tuvieran discusiones sobre la microcuenca en un ambiente propositivo y de respeto.

Por otra parte, la agrupación de los actores en una plataforma permitió contar con una figura semiformal como el espacio o red para la participación en la elaboración del Plan de acción. Sin embargo, hay que reconocer que durante el primer taller se detectó la ausencia de algunos actores clave, por lo que la plataforma se mantuvo abierta a sumar a más actores en el transcurso del proceso, en gran medida, debido a que sus atribuciones, conocimientos y experiencia representaban contribuciones fundamentales para contar con un Plan de acción integral. Derivado de esto, uno de los retos que surgieron fue lograr integrar a los nuevos actores a la dinámica y ecosistema de trabajo colaborativo que se habían acordado en el primer taller.

Ante ello, durante la evaluación participativa del proceso y junto con las reflexiones del equipo de Reforestamos, se concluyó que previo a la primera reunión multiactor, la aproximación a los diversos actores y sectores para favorecer su interés por participar, a través de estrategias de acercamiento como entrevistas o charlas puede contribuir a lograr una buena convocatoria desde el inicio. Por tanto, el acercamiento más personalizado con los actores puede servir a varios objetivos que prevengan obstáculos que interfieren con el progreso del proceso para involucrar a los actores, así como el trabajo sustantivo de la planeación. Ejemplo de los beneficios de una aproximación previa son: el compartir información sobre los objetivos del proceso y la dinámica de trabajo que se detonará; la validación de información del diagnóstico con la que se cuenta y su complementación con información nueva; la generación de interés para participar; la generación de confianza con el equipo que detonará y facilitará el proceso; y, la invitación previa para participar.

Ahora bien, en cuanto a la dinámica de trabajo para motivar a que los actores sean los protagonistas como “hacedores” del instrumento de planeación, fueron fundamentales para que de manera paulatina se apropiaran del proceso, siendo ellos quienes trabajaran a detalle sobre las propuestas de actividades de manejo de la microcuenca y tomaran decisiones sobre la dinámica de reuniones, periodicidad, medios de comunicación y socialización de información.

En lo referente a los medios para facilitar la coordinación de la plataforma y del trabajo del Plan, la integración de una Secretaría técnica con participación de actores de gobierno y de la sociedad civil, así como los Grupos de trabajo, con especialistas de todos los sectores mantuvo el espíritu de gobernanza, en el que actores gubernamentales y no gubernamentales pudieran contar con la misma oportunidad de participación. Esto con los beneficios adicionales de que, por un lado, la participación de los actores no gubernamentales llevara a la planeación propuestas informadas sobre lo que observan directamente en el territorio y, por otro, se lograra el involucramiento de diversas instancias del gobierno municipal y estatal con atribuciones en las distintas materias de atención.

Adicionalmente, esta experiencia ha mostrado que un factor necesario para asegurar avances constantes es la comunicación entre los actores. En tal sentido, ha sido fundamental contar con canales de comunicación accesibles a todos, utilizando los medios tradicionales y los medios electrónicos. Aunado a esto, la socialización de documentos de trabajo e información sobre la convocatoria a las reuniones, los objetivos planteados y los pasos del proceso son primordiales para que los actores participen de manera efectiva. Asimismo, el compromiso de los actores para preparar sus participaciones y realizar las tareas que quedan pendientes entre reuniones debe ponerse al mismo nivel, por lo que el respaldo institucional en el caso de instancias de gobierno y de otras organizaciones permite que los actores dispongan de tiempo necesario para sumarse a un proceso de este tipo.

Finalmente, de acuerdo con opiniones de los participantes de la plataforma, ha habido una coincidencia en que este ejercicio multiactor les ha permitido entablar el diálogo y abrir la oportunidad de elaborar un instrumento de planeación integral para la microcuenca del río Chiquito. Si bien varias de las actividades que se contemplan en el Plan ya están siendo implementadas por los diversos actores, este ejercicio también les ha brindado un espacio para sumar y alinear esfuerzos, ahora también, hacia todo lo que se requiere por hacer para un manejo integral.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

La implementación del proyecto pudo realizarse gracias al generoso apoyo de la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ, por sus siglas en alemán), el compromiso institucional y del personal del Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) Morelia y demás instituciones del gobierno municipal y estatal, así como empresas, organizaciones que encontraron un valor y una oportunidad para mejorar las condiciones en las que se encuentra la microcuenca del río Chiquito en Morelia. El equipo consultor de Reforestamos también agradece y reconoce la labor -en varios casos voluntaria- de todas las personas que, independientemente de su lugar de trabajo o actividad, dedicaron tiempo, energía y corazón a este proceso.

## **6. LITERATURA CITADA**

- Bevir, M. (2010). *Democratic governance*. New Jersey: Princeton University Press.
- Cotler, H., Galindo, A., González, I., Pineda, R. y Ríos, E. 2013. *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Cuadernos de Divulgación Ambiental. México. Disponible en: [http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/Cuencas\\_final\\_2014.pdf](http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/Cuencas_final_2014.pdf)
- FAO. 2004. *Guía metodológica de sistematización*. Programa Especial para la seguridad Alimentaria PESA en Centroamérica. Honduras. Disponible en: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/190561/guia-met.pdf>
- GTZ. 2009. *Capacity WORKS*. El modelo de gestión para el desarrollo sostenible. Disponible en: <http://saludpublica.bvsp.org.bo/textocompleto/bvsp/boxp68/capacity-works.pdf>

Mayntz, R. (2001). El Estado y la sociedad civil en la gobernanza moderna, *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, No. 21, Octubre 2001, pp. 1-8.



## **ID-188: PLAN HÍDRICO: HERRAMIENTA DE RESILIENCIA MUNICIPAL EN JESÚS MARÍA, AGUASCALIENTES**

Oscar Salvatore Olivares<sup>a</sup> y Saúl Alejandro Flores<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Jefe de planeación hídrica, Comisión de agua potable, alcantarillado y saneamiento del municipio de Jesús María, Aguascalientes, email: oscar.salvatore@me.com

<sup>b</sup> Director de planeación, Comisión de agua potable, alcantarillado y saneamiento del municipio de Jesús María, Aguascalientes, email: saalflo@yahoo.com

### **RESUMEN**

El municipio de Jesús María en el estado de Aguascalientes presenta un rezago considerable en la gestión, administración y desarrollo en materia hídrica, específicamente en las funciones que debe asumir un Organismo Operador, motivo por el cual este Plan Hídrico Municipal (PHM) tiene la encomienda de marcar una hoja de ruta que permita mejorar y alcanzar los objetivos trazados y que garanticen no sólo la sustentabilidad del recurso, sino el brindar servicios de agua de calidad. Lo anterior, será posible dado que el presente instrumento reviste un carácter normativo, convirtiéndose en una herramienta que debe ser aplicada y consultada por todas las áreas, instancias y dependencias que conforman la administración pública municipal. El PHM está concebido como una política pública, es decir: son acciones de gobierno con objetivos de interés público que surgen de decisiones sustentadas en un proceso de diagnóstico y análisis de factibilidad, para la atención efectiva de problemas públicos específicos, en donde participa la ciudadanía en la definición de problemas y soluciones. En este caso en materia de agua y saneamiento a nivel municipal. El documento se divide en cuatro secciones, la parte de diagnóstico en donde se describen los procesos hidroclimáticos del municipio, la segunda sección respecto a la pertinencia legal y jurídica que da certeza de las acciones y medidas del uso y la forma de emplear estos recursos hídricos, la tercera sección en materia de gobernanza y finalmente la cuarta parte refiere a la forma en que deberá actuar el Organismo Operador. Destacan entre sus productos un mapa de zonas de recarga a su acuífero, rutas de eficiencia administrativa, así como las bases para un sistema municipal de agua junto con un consejo directivo que permiten la ejecución real de un proceso de gobernanza de los recursos hídricos. Con esta herramienta de política pública, el municipio de Jesús María en Aguascalientes se coloca como uno de los pocos municipios en el país en tener una ruta de planeación en materia hídrica, lo que permite un orden en su crecimiento económico, así como determinar prioridades para procurar la sostenibilidad de su recursos máspreciado.

**Palabras clave:** Plan hídrico, municipio, instrumento de política, organismo operador.

### **1 INTRODUCCIÓN**

La Ley de Aguas Nacionales define al conjunto de disposiciones contenidas en ésta como de orden público e interés social y a los recursos hídricos como un asunto de seguridad nacional. Se trata de conceptos vinculantes que articulan la participación ciudadana con las políticas públicas gubernamentales en un proceso de necesaria y permanente retroalimentación. Hay en materia de agua una corresponsabilidad ineludible entre la sociedad y el estado.

Si bien es cierto los municipios tienen la responsabilidad de proveer a la población de distintos servicios públicos, también lo es el que no todos los municipios están en las mismas condiciones para su prestación. El Municipio de Jesús María en el estado de Aguascalientes presenta una serie de condiciones que no son favorables ni para el presente, ni para el futuro en lo que respecta a dos vertientes como son la calidad en la prestación de los servicios y en la propia sustentabilidad del recurso.

En congruencia con el Plan de Desarrollo Municipal, 2017-2019, instrumento rector en el ámbito municipal, se determinó solucionar esta problemática y desarrollar como proyecto estratégico el Plan Hídrico Municipal (PHM), a partir de su aplicación comenzará por suplir la ausencia de información, dar ordenamiento a la misma con base a una metodología encaminada a conocer la dimensión real del agua que permita su preservación y conservación, a su vez implementar los mecanismos que garanticen la distribución del agua en calidad y cantidad a cada usuario de los servicios.

El PHM está concebido como una política pública, es decir: son acciones de gobierno con objetivos de interés público que surgen de decisiones sustentadas en un proceso de diagnóstico y análisis de factibilidad, para la atención efectiva de problemas públicos específicos, en donde participa la ciudadanía en la definición de problemas y soluciones. En este caso en materia específica de agua y saneamiento al interior del municipio de Jesús María.

Se trata de un documento que se divide en cuatro secciones, la parte de diagnóstico en donde se describen los procesos hidroclimáticos del municipio de Jesús María, es decir cómo llueve, en dónde, cuándo se presentan años atípicos de sequías e inundaciones, esto cómo afecta a los pobladores, a la infraestructura, cuánta agua se usa, cuánta se limpia, cómo la usan los habitantes del municipio y cuáles serán las necesidades de agua en 5, 10, 20 años y por lo tanto qué requiere el municipio para garantizar el servicio óptimo de agua.

En la segunda sección toda respecto a la pertinencia legal y jurídica que da certeza de las acciones y medidas del uso y la forma de emplear estos recursos hídricos; los manuales de operación, los lineamientos a seguir para obtener presupuestos e invertir para garantizar y mejorar el servicio.

La tercera sección es en materia de gobernanza, esto se refiere a la manera de tomar las decisiones, como parte de la propuesta del actual alcalde en el plan municipal de desarrollo se pretende que las medidas no sean unilaterales, sino que sean consensadas con la ciudadanía a fin de garantizar la mejor decisión con la mayor transparencia en el uso de los recursos públicos. Además de que el organismo operador actuará en congruencia con la gobernanza bajo un esquema de Consejo Directivo Ciudadanizado, autónomo y con perfil en el sector, reforzando la corresponsabilidad y participación. En el seno de este consejo se discutirán y decidirán las inversiones, ampliaciones y las acciones a seguir.

Por último, la cuarta parte refiere a la forma en que deberá actuar el Organismo Operador, Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Jesús María, su organización, el replanteamiento de sus funciones que lo conviertan en una institución sustentable y sostenible, eficiente y eficaz, capaz de garantizar el derecho humano al agua y la preservación del vital recurso en el municipio.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

El municipio de Jesús María se ubica al nor poniente de la ciudad capital del estado de Aguascalientes, colinda al norte con los municipios de San José de Gracia y Pabellón de Arteaga, al este con los municipios de San Francisco de los Romo y Aguascalientes, al sur con los municipios de Aguascalientes y Calvillo y al oeste con los municipios de Calvillo y San José de Gracia.



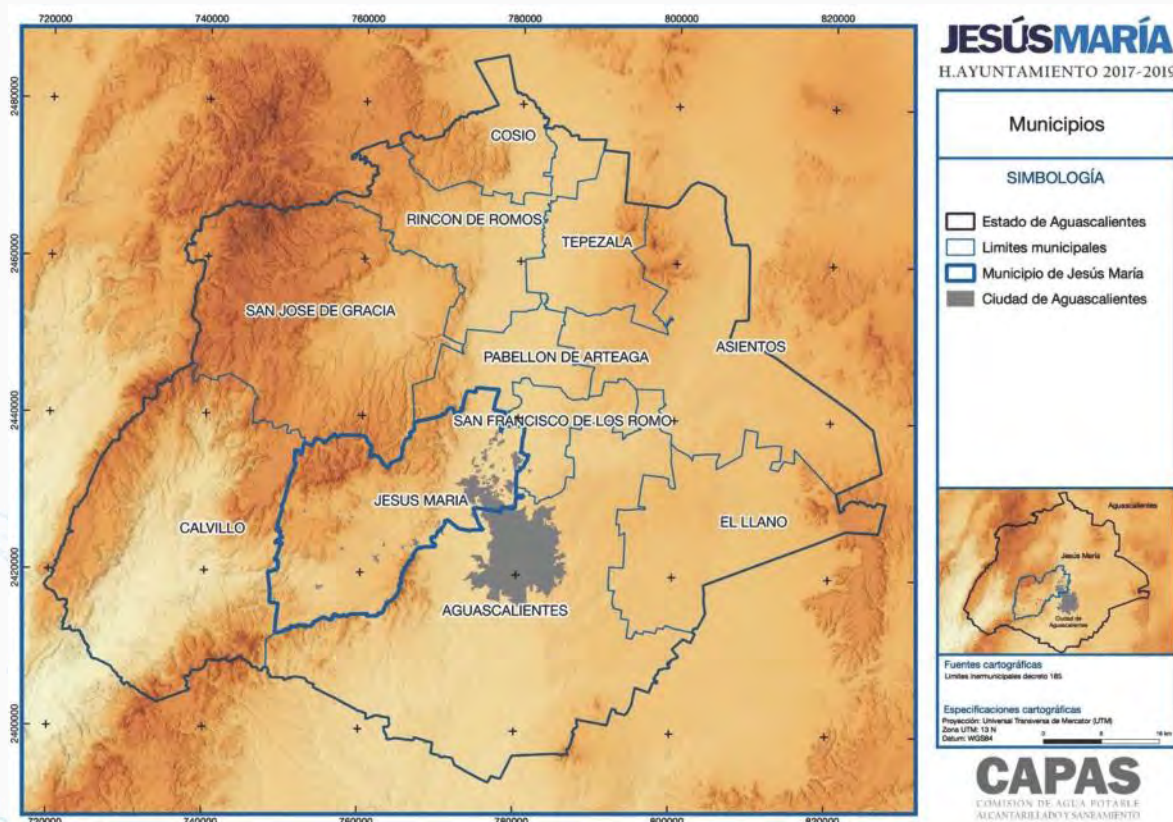


Figura 1. Ubicación del municipio de Jesús María, Fuente: Decreto 185 (2011).

La superficie municipal es de 561.42 km<sup>2</sup> lo cual representa el 9.8% de la superficie total del Estado de Aguascalientes, cuya área es de 5,621.55 km<sup>2</sup>. Las principales localidades: La cabecera Municipal, Corral de Barrancos, Paseos de Aguascalientes, J. Gómez Portugal y Maravillas, datos del INEGI (2015) contabilizan 120,405 habitantes en Jesús María.

El municipio, presenta una densidad demográfica de 238.4 hab km<sup>2</sup> con una tasa de crecimiento de 4.1 % en el período comprendido de 2010 al 2015; de acuerdo con la regla del 70 eso significa que en 17 años a partir del 2015 la población del municipio de seguir con esta tasa de crecimiento se duplicará.

Las viviendas habitadas de acuerdo con el INEGI (2015) en el municipio son 28,911, lo que representa el 8.6% de las viviendas del estado, las cuales son 334,589, en donde habitan en promedio 4.2 personas por vivienda al interior del municipio de Jesús María, de estas viviendas el 90.6% cuenta con agua entubada y un 99% con drenaje.

### 3 RESULTADOS

A modo de síntesis se presentarán los resultados más relevantes de cada sección.

En la primera referente al diagnóstico se tienen datos precisos de la precipitación y su variabilidad temporal. En el municipio de Jesús María hay una mayor frecuencia a ocurrencia de ciclos secos a húmedos, el registro de 76 años de precipitación muestra que el 53% de los ciclos de lluvia tienden a ser secos a muy secos, sin embargo, los ciclos considerados muy húmedos se presentan con una cierta frecuencia, por lo que al ocurrir ciclos muy húmedos la infraestructura llega a ser dañada y con ello la capacidad de almacenar estos excedentes para ser empleados por lo menos al siguiente ciclo.

Cuadro 1. Denominación de los ciclos de lluvia de acuerdo a la clasificación de Prohaska (Sacchi et al., 2002).



Denominación	Límites	Municipio de Jesús María		
		Rango en mm	Frecuencia	
			n	%
muy seco	x-3s a x-2s	110 a 252	1	1
seco	x-2s a x-s	252 a 394	11	14
normal seco	x-s a x	394 a 536	29	38
normal húmedo	x a x+s	536 a 678	25	33
húmedo	x+s a x+2s	678 a 820	6	8
muy húmedo	x+2s a x+3s	820 a 962	4	5
x: media, s: desviación estándar				

El municipio de Jesús María obtiene la totalidad del agua que suministra a la población de fuentes subterráneas de agua; el organismo operador (CAPAS) cuenta con una batería de 42 pozos profundos los cuales brindan el recurso hídrico para la población. Dentro de la superficie que comprende el municipio de Jesús María se intersectan tres acuíferos de los cinco que existen a nivel estatal (fig. 2), el 88% de los pozos de CAPAS se ubican sobre el acuífero del Valle de Aguascalientes; mismo que ocupa la mayor superficie en el municipio, seguido del acuífero de Venaderos en casi un 20% de la superficie total del municipio.

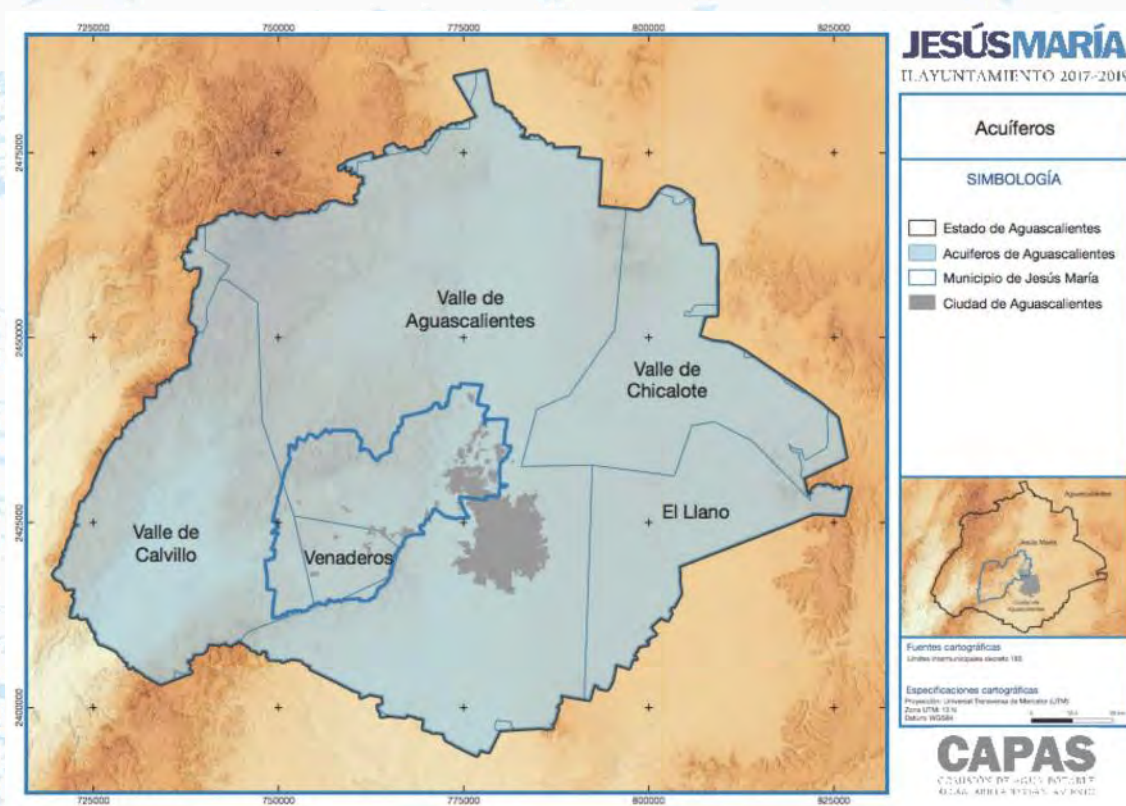


Figura 2. Acuíferos del estado de Aguascalientes.



Los 120,405 habitantes del municipio de Jesús María están establecidos en 187 localidades, de las cuales 6 son urbanas, es decir el 3.2% del total. Esta población representa el 9.1% con respecto a la total del estado que es de 1,312, 544 personas. En la figura 3 podemos apreciar las localidades más pobladas, así como su ubicación, casi la totalidad de las localidades se encuentran cercanas a la cabecera municipal.

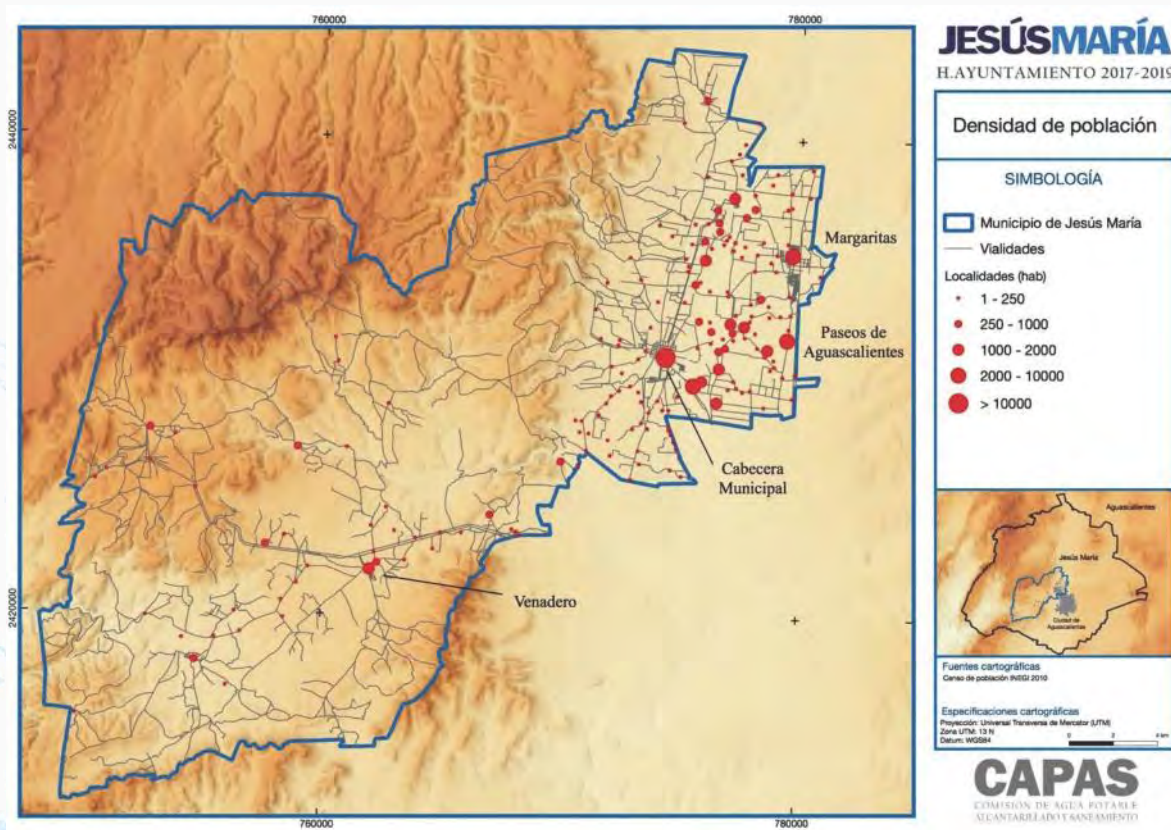


Figura 3. Distribución territorial de la población en el municipio de Jesús María.

**Zona metropolitana:** Actualmente la población del estado de Aguascalientes crece a una tasa del 2.2% anual (INEGI, 2015, la población rural migra a los distintos centros de población urbana en el estado, al día de hoy el municipio capital es habitado por 877,190 personas, lo que representa el 67% de la población de estado. Aunado a lo anterior la propia dinámica económica del estado se ha visto reflejada en la conurbación de los municipios con mayor dinamismo industrial, los cuales son Jesús María y San Francisco de los Romo, lo que constituye actualmente la zona metropolitana de Aguascalientes (fig. 4).

El reto en materia de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento que enfrentan los tres organismos operadores de agua potable es grande y complejo, es fundamental la integración de una política regulatoria metropolitana, así como la corresponsabilidad en las diversas políticas públicas en materia de agua potable y saneamiento.

La zona metropolitana de Aguascalientes al año 2040 tendrá un crecimiento promedio general del 97%, es decir en 21 años los requerimientos de agua potable estarán por el orden de los casi 113 millones de  $m^3$  año<sup>-1</sup>, considerando que actualmente el déficit hídrico de los servicios de agua potable por parte de los organismos operadores en cada uno de los tres municipios es importante y que la cobranza en contexto de los servicios de suministro, dotación y saneamiento es del orden del 40 al 60% promedio, el escenario es de alarmar (cuadro 2).



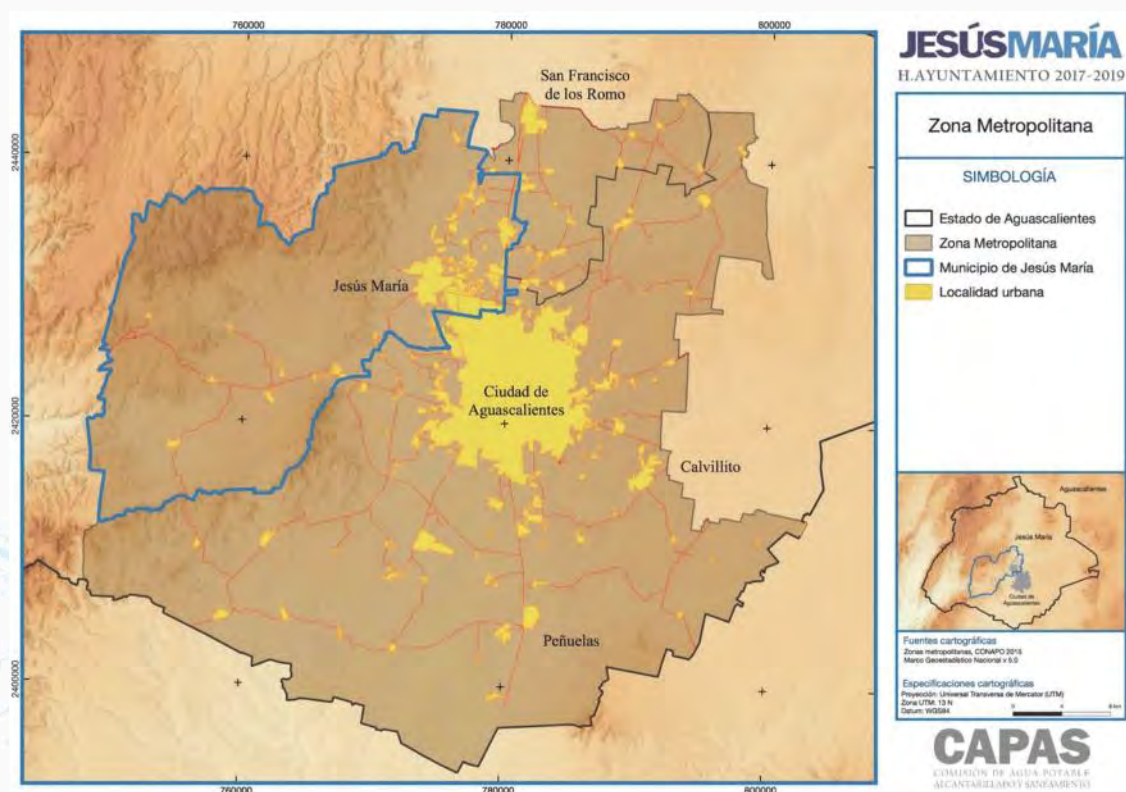


Figura 4. Mapa de la zona metropolitana y las localidades principales.

Cuadro 2. Características de la zona metropolitana por municipio. Fuente: INEGI, 2015.

Elemento / Municipio	Aguascalientes	Jesús María	San Francisco de los Romo	Zona Metropolitana
Población 2015 (hab)	877,190	120,405	46,454	1,044,049
Tasa de crecimiento poblacional 2010-2015 (%)	2.1	4.1	5.6	3.9
Demanda de agua m <sup>3</sup> /año 2015*	48,026,153	6,592,174	2,543,357	57,161,683
Viviendas 2015	230,559	28,911	11,705	271,175
Densidad de población 2015 (hab/km <sup>2</sup> )	744.6	238.4	333.8	438.9
Escenario al año 2040				
Población 2040 (hab)	1,342,684	243,820	111,490	2,061,997
Demanda de agua m <sup>3</sup> /año 2040*	73,511,958	13,349,152	6,104,056	112,894,323
Viviendas 2040	352,909	58,545	28,092	535,571
Densidad de población 2040 (hab/km <sup>2</sup> )	1,140	483	801	867

- 150 lt/hab/día valor de acuerdo a estándares internacionales para una zona con clima semiárido.



*Recarga de acuíferos:* Uno de los temas de mayor relevancia para el municipio de Jesús María es contar con información actual y precisa sobre sus recursos hídricos con la finalidad de planificar su uso más adecuado dentro del contexto de sostenibilidad ambiental, económica y social. En este sentido el acotamiento del déficit en el balance del uso de agua de fuentes subterráneas resulta imperativo, específicamente cuando nos referimos a agua de acuíferos confinados.

Se ubicaron las zonas de recarga al acuífero (figura 5) de acuerdo a su aptitud, mediante un método de evaluación multicriterio de elementos espaciales basado en el trabajo de Bravo et al. (2015). Dicho trabajo permite delimitar diferentes zonas de acuerdo a la construcción, ponderación y superposición de capas vectoriales de la geología, edafología, pendiente, tipo de suelo y vegetación del municipio, así como fallas y elementos que permitan la percolación de agua pluvial.

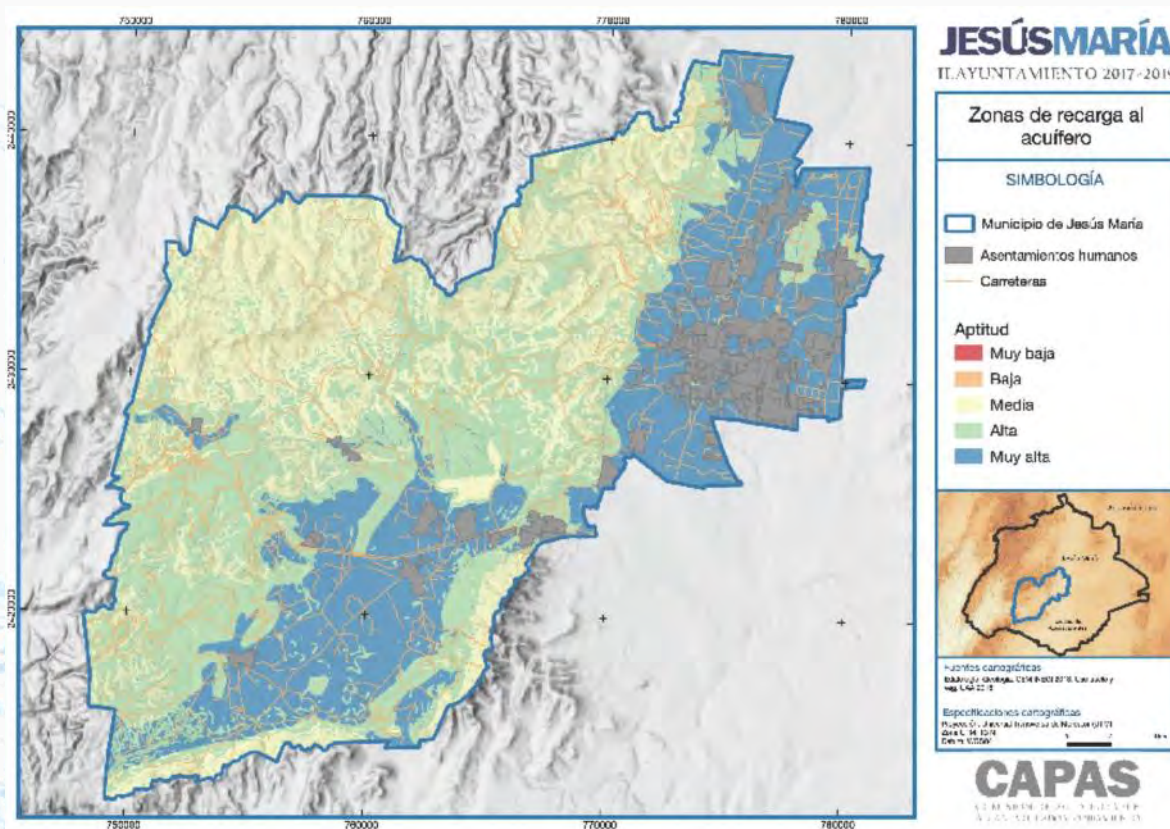


Figura 5. Zonas potenciales de recarga al acuífero y asentamientos humanos.

*Riesgo por inundación:* La frecuencia de ciclos muy húmedos en el municipio es menor que aquellos secos de acuerdo con el registro histórico de 76 años los ciclos húmedos y muy húmedos tienen una frecuencia del 13%, llegando a valores de 700 a 900 mm promedio. Si bien estos ciclos de mucha precipitación son benéficos para distintos procesos tanto agropecuarios como ambientales, nuestra infraestructura está sustentada en una continua condición de déficit de lluvia, característica básica de los ambientes semiáridos el cual es el clima de la región, de tal forma que no hay una condición adecuada para los embates de avenidas luego de precipitaciones atípicas.

Los asentamientos humanos más importantes del municipio, entre ellos la propia cabecera se sitúan a la salida de dos cuencas de tamaño intermedio a grande, estas son la cuenca del Río San Pedro y la del Río Chicalote, ambas se extienden al norte del municipio rebasando los propios límites estatales (fig. 6).



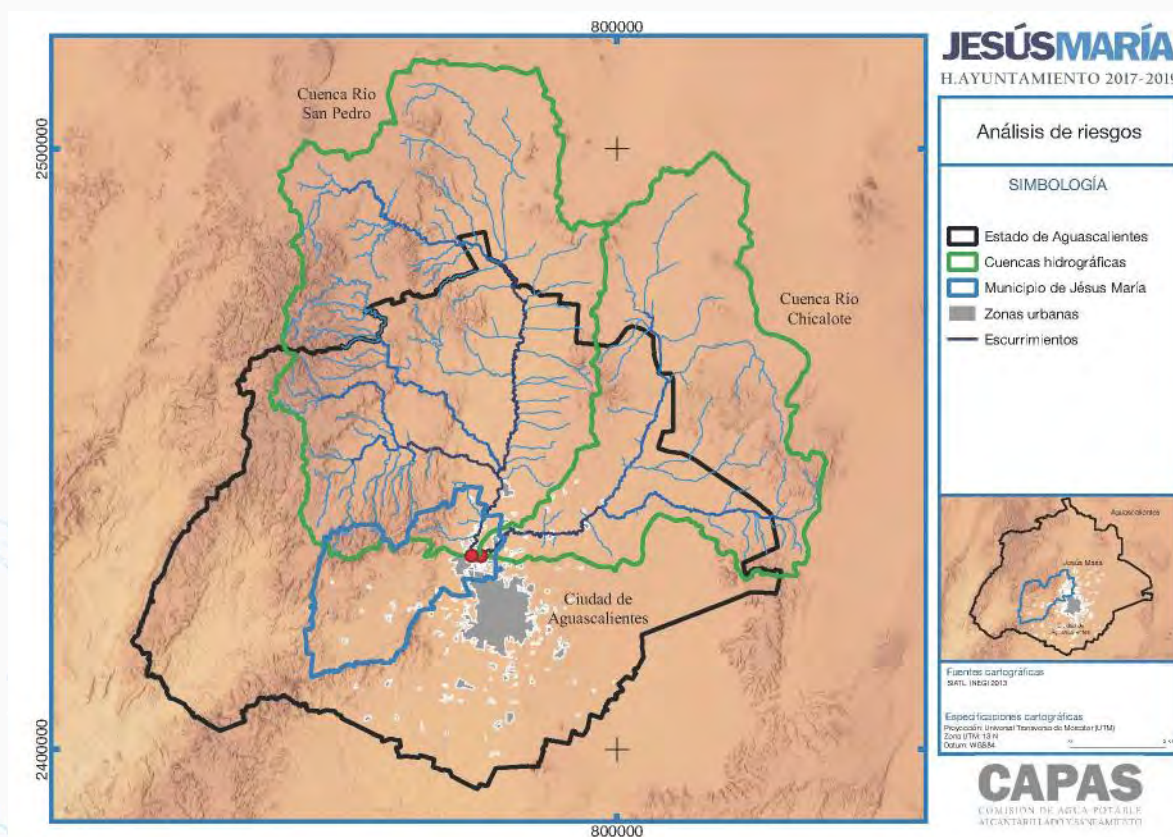


Figura 6. Ubicación de la cuenca Río San Pedro y Chicalote, ambas drenan en la zona urbana del municipio de Jesús María.

En el cuadro 3 se presentan las características físicas de las cuencas en cuestión y su análisis a través de indicadores cuantitativos y cualitativos que facilitan la lectura de la conducta de los escurrimientos superficiales.

Cuadro 3. Parámetros morfo-hidrométricos para inferir la respuesta hidrológica de las cuencas en cuestión.

Atributo		Cuenca Río San Pedro	Cuenca Río Chicalote	Valores de referencia (González, Arvizu y Domínguez, 2013).
Parámetros de forma	Área (km <sup>2</sup> ) Tamaño	3,429 Grande	2,019 Intermedio-grande	Superficie intermedia-grande: 500- 2500 km <sup>2</sup> , 2500-5000 km <sup>2</sup> cuenca grande (Campos, 1984)
	Perímetro (km)	302	272	No aplica
	Razón de elongación Forma	0.46 Ligeramente alargada	0.45 Ligeramente alargada	Varía entre 0 y 1. Si X <0.5 es alargada, si X >0.5 es ovalada (Schumm, 1956)
Parámetros de relieve	Altitudes extremas (m.s.n.m.)	2,822 / 1,860	2,231 / 1,861	Suave: < 200, Moderado: 200-1000, Fuerte: >1000 (Parra y Zorrilla, 2007)
	Rango de elevación (m)	962	1,564	
	Grado del relieve	Moderado	Fuerte	
Parámetros de drenaje	Longitud del cauce principal (km)	144	113	Corto: < 10, Medio: 11 a 15, Largo: >15 (Parra y Zorrilla, 2007)
	Extensión	Largo	Largo	



Pendiente del cauce principal (%) Grado	0.66 Suave	0.32 Suave	Suave: < 10, Moderada: 10 a 30, Fuerte: 30 (Gaspari, 2002)
Tiempo de concentración (hr) Rapidez	20.8 Rápido	22.8 Rápido	Rápido: < 40, Moderado: 40-80, Lento: >80 (Kirpich, 1940)
Densidad de drenaje (km km <sup>-2</sup> )	2.06 Baja	1.61 Baja	Baja: < 5, Moderada: 5-10, Alta: >10 (López Cadenas, 1998)
Orden de corriente	8 Alto	7 Alto	Bajo: < 2, Medio: 3-5, Alto > 5 (Stralher, 1964)

Al analizar las características morfo hidrométricas de las cuencas podemos precisar que la forma de la cuenca del Río San Pedro es ligeramente alargada lo cual decrementa la posibilidad de crecidas luego de eventos de precipitación extraordinaria dado por sus tiempos rápidos de concentración, de igual forma la cuenca del Río Chicalote presenta una forma ligeramente alargada, lo que disminuye la posibilidad de crecidas luego de eventos extremos de precipitación. Esta forma alargada y angosta, esta asociada a un alto número de cauces de primer orden lo que repercute en una mayor velocidad de concentración pero al mismo tiempo indica baja tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento.

Los parámetros de drenaje son similares para ambas cuencas, se considera que la pendiente media del cauce principal es suave, el tiempo de concentración es similar confiriendo una tipología de cuencas rápidas para la descarga de escurrimientos superficiales. La densidad de drenaje manifiesta la poca precipitación presente en ambas cuencas de estudio, lo que para el caso de la cuenca Chicalote esto se traduce en un aumento de la exposición a crecidas en la parte media y baja de la cuenca, lo que repercute en el riesgo asociado a la dinámica fluvial dado por la incapacidad de drenaje de un tramo del río ante una crecida del caudal, así como el consiguiente desbordamiento del agua y la inundación de los terrenos colindantes con el cauce. Junto a esto, se ha de considerar el potencial erosivo y de arrastre del agua desbordada, así como el depósito posterior de sedimentos en las zonas afectadas como procesos adicionales que incrementan los efectos negativos de las crecidas fluviales. Estas inundaciones pueden tener un alto impacto en la infraestructura hidráulica y en los asentamientos humanos más cercanos al cauce principal, principalmente en la parte media de la cuenca, pues hacia la parte baja de la misma la falta de declive permite la reducción de la velocidad y el volumen del caudal del cauce principal.

Con respecto a las otras secciones se constituyó el Consejo Directivo ciudadanizado de CAPAS, el PHM junto con el reglamento de servicios de CAPAS fue avalado por cabildo y publicado en el Periódico Oficial el Estado, se crearon los manuales de organización, de comercialización, de contingencias, de procedimientos, así como la actualización del reglamento interno con base en la nueva estructura orgánica de CAPAS.

Todo lo anterior se ha traducido en un incremento del 30 % en la recaudación y un crecimiento general del orden del 13 % anual en los últimos tres años.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El Plan Hídrico Municipal además de marco normativo es una herramienta de trabajo para que el organismo operador, así como aquellas autoridades municipales que inciden en el sector lo utilicen como referencia, incluso la sociedad organizada que participa activamente en el sector quien actuará de manera precisa en los esquemas de gestión y administración como lo será el Sistema Municipal del Agua y el propio Consejo Directivo de CAPAS.

El diseño, implementación, ejecución de políticas públicas del sector agua y subsector agua potable, tiene en este instrumento su fundamento, que no es limitativo sino enfocado a renovarse y adecuarse a las necesidades y retos.

Esto implica que las autoridades de agua, el propio CAPAS trasciendan sus esfuerzos más allá del actuar cotidiano, del día a día, inercia que no puede omitirse, pues la atención a los problemas y a los usuarios es parte fundamental, sin embargo, se requiere la implementación de mecanismos que nos permitan atender, responder en tiempo y forma a la demanda del servicio, pero esta atención debe llegar a un nivel de planeación, programación y prevención.

Herramientas como la gobernanza, serán parte fundamental del Plan Hídrico, así como las políticas públicas, un diagnóstico que nos permitirá ver cuál es la panorámica hídrica en el municipio de Jesús María con sus retos y problemas a mediano y largo plazo, un esquema de indicadores para medir nuestro avance, un capítulo que marca a modo de hoja de ruta los elementos y aspectos que deben integrarse y desarrollarse para consolidar al organismo operador desde la perspectiva de la eficiencia y de la propia calidad del servicio, es decir, llegar a la sostenibilidad.

## **5. LITERATURA CITADA**

Bravo Peña, L. C., D. A. Sáenz, L. C. Alatorre, A. Priego, M. E. Torres y A. Granados. 2015. Identificación de áreas potenciales de recarga hídrica al acuífero Cuauhtémoc (Chihuahua), mediante una evaluación espacial multi-criterio. Memorias de resúmenes en extenso SELPER-XXI-México-UACJ-2015.

González, H., Arvizu, L., y Domínguez, M. (2013). Uso de herramientas informáticas para la caracterización geomorfológica de cuencas hidrográficas. En Memorias del III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Morelia (Vol. 69).

INEGI, 2015. Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015: Aguascalientes / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México: INEGI, c2015.

Sacchi, O., Dalla Marta, N., Costanzo, M., y Coronel, A., 2002. Caracterización de las precipitaciones en la Localidad de Zavalla. Revista de Investigaciones de La Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario, Argentina., 2(2), 92–104.



## **ID-202: EL ESTUDIO DEL TERRITORIO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO: PROBLEMÁTICA DEL CULTIVO DE AGUACATE EN MICHOACÁN**

Diana Janeth Fuerte Velazquéz <sup>a</sup>, Hilda R. Guerrero García Rojas <sup>b</sup>, Luis Seguí <sup>c</sup>, Andrés de Andrés <sup>d</sup>, Yesenia Fuerte Velazquéz <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Economía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, djfuertev@fevaq.net.

<sup>b</sup> Facultad de Economía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, hildaguerrero@fevaq.net

<sup>c</sup> Faculty of Business and Communication, Universidad Internacional de la Rioja, luisalberto.segui@unir.net

<sup>d</sup> Department of Applied Economics, Universitat Autònoma de Barcelona, andres.deandres@uab.edu

<sup>e</sup> Facultad de Economía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, yeseniafuerte23@gmail.com

### **Resumen**

Se reconoce que en la actualidad la situación del recurso agua, es una de las problemáticas ambientales que más preocupa, y es que este recurso cumple diversas funciones para sostener el desarrollo de todo ser viviente, y con ello los desarrollos social, económico y ecológico. En este sentido, se habla de la necesidad del desarrollo de nuevas teorías y metodologías que busquen un balance entre los objetivos del crecimiento económico, el funcionamiento físico de la naturaleza, y el desarrollo del ser humano. El concepto de cuencas hidrográficas, entendido como el espacio geográfico que contiene los escurrimientos de agua y que conducen hacia un punto de acumulación, representa un enfoque necesario para unificar criterios entre los diversos actores que utilizan el recurso agua y de esta forma delimitar y fortalecer acciones para lograr la conservación. Esta noción se encuentra dentro del marco de la Gestión Integral del Recurso Hídrico; un enfoque que surgió a finales del siglo XX a partir de varias conferencias internacionales. Este modelo representa un modelo participativo que involucra a usuarios, planificadores y realizadores de política a todos los niveles para alcanzar consensos duraderos, con el fin de lograr la sustentabilidad en el manejo del agua. El presente estudio realiza una revisión teórica del concepto de territorio, para entender que en este se concentra la cuenca como unidad de estudio, y del modelo de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, además menciona la problemática hídrica a causa de la expansión del aguacate en los últimos diez años, con el fin de evidenciar la urgencia de transitar hacia este tipo de metodología que propicien la participación de todos los actores sociales que forman un territorio para la conservación del patrimonio natural como es el recurso agua.

**Palabras clave:** cuenca, territorio, gestión del agua, el aguacate en Michoacán.

### **Introducción**

El agua es un recurso multifuncional, básico para la vida, pero también es un recurso económico y social. Sin embargo como menciona (Frutos Mejía, 2006) con frecuencia se le adjudica más con la función económica de generación de la riqueza que como un activo ecosocial. En éste sentido Leff (2002) refiere que al convertir el recurso agua en un bien económico, pasa a un proceso de cosificación de naturaleza, en el que se desnaturaliza de

su complejidad ecológica y se convierte en materia prima del proceso económico. El concebir al recurso agua desde la perspectiva de bien económico desencadena desajustes y conflictos crecientes como: escasez de agua por la sobre explotación, sequías, contaminación y desigualdad distributiva. Por lo tanto, para entender su gestión y uso responsable debemos asumir que este bien es un activo social y biológico, además de económico.

En este contexto el estudio hace un análisis de los aspectos que influyen en la gestión del recurso agua como son el territorio y la cuenca hidrológica, cabe destacar que hace un breve análisis de la problemática vivida en Michoacana por la expansión del aguacate, lo cual está generando un consumo excesivo que está causando severos daños ambientales. Todo lo anterior, se trabaja a partir de una revisión documental. En el primer apartado del estudio iniciamos con dar un panorama general del concepto de territorio, para entender que en este espacio es donde encontramos la unidad básica de estudio que es la cuenca hidrológica, y esta se encuentra envuelta en diversos elementos que la conforma, después de analizar este elemento, se describe, la problemática de la producción de aguacate en Michoacán por los elevados consumos de agua, y finalmente el estudio termina con referir que es necesario transitar hacia un modelo de gestión más participativo, donde los diversos actores sociales que usan este recurso tan esencial puedan generar políticas o acciones que logren agua para todo los sectores y para las generaciones futura.

### **El concepto del territorio para entender la gestión hídrica**

El territorio resulta ser un concepto complejo. En la literatura nos encontramos con múltiples significados y cada uno incluye aspectos que el otro no tiene. En este sentido, Milton (1996) plantea que el territorio es un conjunto indisoluble solidario y contradictorio de sistemas de objetos y de sistemas de acciones; este autor hace referencia tanto a sujetos o un grupo de personas, como aun sector social o a una sociedad. Para Bozzano (2009) el territorio hace alusión a la tierra que pertenece a alguien, desde esta perspectiva no solo es un barrio una ciudad o un barrio, una región o un país sino un barrio y su vida. Un tercer autor es Arreola Muñoz (2017) quien plantea que el territorio es una noción que tiene que ver con elementos y ciclos materiales, bióticos y abióticos que le son intrínsecos de manera natural, los cuales adquieren forma y contenido a partir de las acciones culturales que son representadas por la dinámicas objetivas y subjetivas de los actores sociales que lo conforman.

Los tres autores coinciden en que el territorio es un espacio construido en la medida en que un grupo social se apropia del espacio, al darle contenido. En efecto, el territorio entonces no es solo un espacio biofísico, sino un espacio envuelto en las relaciones que establecen los actores sociales que conforman el espacio. Es un sistema abierto y dinámico, en donde los actores forman sinergias, cohesión y hasta vínculos emocionales; estos elementos revelan que el territorio es un espacio social reproductor de las acciones de los actores sociales.

Estas acciones dialógicas que se generan en un territorio deben generar soluciones a los problemas relacionados con el manejo de los recursos naturales, como es el caso del recurso hídrico. Se reconoce que el agua, es un vector



fundamental en la configuración del territorio, y es que de todas las dinámicas materiales que se producen continuamente en la matriz biofísica, el ciclo del agua es el más determinante; elemento clave en la transformación humana del territorio. Como es un elemento que puede lograr una evolución en un territorio, su gestión debe integrar aspectos socioeconómicos y ecosistémicos. Además, que debe ser manejado desde la unidad básica territorial de estudio que es la cuenca. Adicionalmente, se debe permitir que los actores sociales del territorio tengan una participación activa en la toma de decisiones sobre el manejo del recurso agua, de esta manera lograr que el agua sea percibida por su valor cultural, social, económico y ambiental dentro del mismo.

### **La cuenca como unidad de estudio dentro del territorio**

Dentro del estudio del territorio se encuentra envuelto la cuenca hidrológica, entendiéndola como aquel territorio en el que las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces secundarios que convergen a uno principal. El punto de partida es cuantificaren la cuenca de gestión la cantidad y calidad que ofrece el ciclo hidrológico. En este sentido, el ciclo hidrológico se caracteriza por siempre estar en constantes cambios, debido a que en su funcionamiento intervienen diversos factores como son: la precipitación, la infiltración, el escurrimiento, la evaporación y la evapotranspiración. De todas estas variables la precipitación, la evaporación, y el escurrimiento superficial son cuantificables a partir de mediciones directas en estaciones meteorológicas o a partir del aforo de los cauces. Por lo tanto el balance hídrico en una cuenca nos va a permitir cuantificar de manera aproximada la magnitud de todas las variables que intervienen en el ciclo hidrológico, es decir los recursos hídricos que ingresan al sistema y lo que salen del mismo sistema, en un intervalo de tiempo determinado. En general, el ciclo hidrológico lleva asociado un equilibrio complejo del agua. Sin embargo, es susceptible a variaciones por causas naturales, pero también por cambios inducidos por la acción humana (Aldana, 2008).

### **Amenaza del recurso hídrico: caso del aguacate en Michoacán**

Uno de los retos ambientales más importantes en este nuevo siglo es el manejo de los recursos hídricos y es que el mal uso del agua ha venido generando una crisis hidrológica. Tan solo en México, los problemas relacionados con el agua se pueden dividir en cuatro grandes rubros: problemas de cantidad, calidad, distribución y uso. Centrándonos específicamente en el uso, encontramos una distribución bastante desigual, y es que el principal consumidor de agua es el sector agrícola con un 75 % del volumen destinado para este rubro, mientras que para el abastecimiento público apenas llega al 14% y el resto para la producción de energía eléctrica y la industria.

Para darnos una idea del porque la agricultura requiere tantos niveles de agua, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) realizó una estimación sobre los requerimientos de agua para producir los alimentos que consumimos tomando en cuenta que aproximadamente se necesitan 2,700 kilogramos de calorías nutricionales al día por persona y un 85 por ciento de la dieta basada en los cereales; tomando en cuenta lo siguiente: suponiendo que se requiere 1 m<sup>3</sup> de agua para producir 1000 calorías de alimentos de origen vegetal

y 5 m<sup>3</sup> por 1000 calorías para producir alimentos de origen animal, el requerimiento de agua entonces para cubrir esa proporción de calorías por persona al día es de 4.3 m<sup>3</sup>, o 1579 m<sup>3</sup> por persona anualmente (WWF, 1986).

Las cifras evidenciadas por la FAO demuestran que sin agua prácticamente no hay vida y es que la agricultura retira la gran mayoría del agua tomada de ríos, lagos y fuentes subterráneas para producir los alimentos que día a día consumimos. Sin embargo, en la actualidad la problemática de disponibilidad de agua en cantidad y calidad se está viendo en decadencia. En otras palabras, la demanda de agua en la actualidad están sobrepasan la disponibilidad de recursos naturales y, por ende, el acceso al agua no está garantizado para todos.

En el caso del cultivo de aguacate en Michoacán, las estadísticas permiten imaginar la expansión de este fruto; de acuerdo a los datos de 1980 a 2009 se pasaron de 21, 241 ha a 103, 602 ha, es decir la superficie creció en más de 80 mil ha y estas cifras van en aumento llegando a las 160 mil hectáreas destinadas a este cultivo en 2017 (SIAP, 2018). Se estima que en los últimos treinta años la superficie estatal aguacatera ha tenido un crecimiento del 388%. De igual forma el crecimiento de las exportaciones aguacateras ha incrementado; en 1980 se estimó 944 ton, para 2009 esta proporción creció un 40% pasando a 337,977 ton, y en 2017 se estimó una producción de un millón 541 mil toneladas cosechadas (De la Tejera Hernández & et.al, 2013). Ante esta expansión del aguacate también se expande la problemática ambiental principalmente por el consumo elevado de agua.

Gómez Tagle en un estudio sobre ¿Cuánta agua consume un aguacate? realizado en 2016 evidencio que un árbol de aguacate de seis a siete metros consume entre 50 y 65 litros diarios; si en promedio la densidad de población es de 100 árboles por hectárea se estaría consumiendo 5,750 Lts de agua diarios; se tienen contabilizadas por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera 160 mil hectáreas en el Estado entonces se tiene un consumo diario de agua de 920,000 m<sup>3</sup>. Esta cifra evidencia la gran cantidad de agua que Michoacán exporta al comercializar el aguacate. Situación que pone en riesgo la seguridad hídrica, al afectar directa el bienestar de la población de la, destruye los ecosistemas, y además las actividades económicas pueden verse limitadas por la falta de agua ante la expansión de la producción de aguacate en Michoacán (González Villareal, 2018).

Además del uso intensivo del agua la producción de aguacate, se evidencia una segunda problemática por la desmesurada plantación de este cultivo que también impacta en la seguridad hídrica, debido a que la recarga de agua se ve afectada directamente por el cambio de uso de suelo. En este sentido, Gómez Tagle, logro estimar que un árbol de aguacate capta 0.017 mientras que un pino capta 2.4 por ciento del total de la precipitación, es decir, 14 veces menos en comparación con el árbol de pino. En consecuencia, la producción de aguacate permite poca infiltración de agua al subsuelo. Esto claramente, genera una crisis hidrológica causada por una visión reduccionista que gestiona solamente al recurso agua como un bien económico y desplaza a los actores sociales con políticas públicas que beneficia a este sector. El gran reto, es esta revalorización del recurso agua.



## **Transitar hacia un modelo de gestión de los recursos hídricos**

.La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), es un enfoque que surgió a finales del siglo XX a partir de varias conferencias internacionales entre las que destaca la Conferencia Internacional Sobre Agua y Medio Ambiente de Dublín, la cual buscaba generar prácticas para un mejor manejo de los recursos hídricos. Además, de los principios de Dublín, la Agenda 21 y la Conferencia de Naciones Unidas Sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD) en Río de Janeiro contribuyeron significativamente a apoyar las bases de este modelo de gestión. El concepto de GIRH está envuelto en dos categorías básicas: el sistema natural y el sistema humano, la integración de estos elementos permite realmente generar mecanismos que busquen asegurar un uso óptimo y sostenible del recurso agua (Mirassou, 2009) . El modelo entonces, persigue que los aspectos económicos, sociales y ecológicos se interrelacionen de manera equilibrada. Por tanto su objetivo, es desarrollar esquemas de ordenación y regulación del recurso agua.

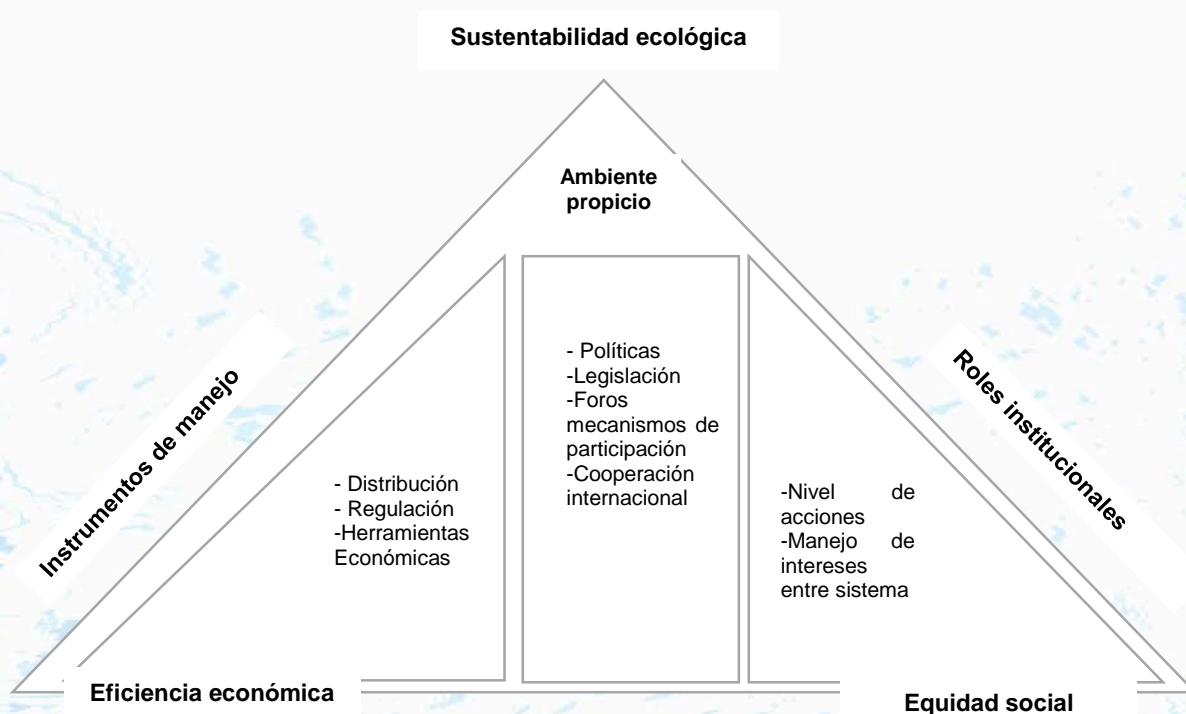
El modelo representa un enfoque participativo que involucra a usuarios, planificador y realizadores de política a todo nivel, sirve para el desarrollo y manejo de agua y para alcanzar consensos duraderos y un acuerdo común. En palabras de Carabias y Landa (2005) la participación no es un fin en sí mismo, sino el medio para lograr los equilibrios y consensos necesarios entre los diversos intereses del desarrollo y el medio ambiente, y acercar las visiones entre los actores gubernamentales y los sociales con el fin de lograr la sustentabilidad en el manejo del agua. Para que ocurra una participación real los interesados y las instituciones encargadas del manejo de aguas tienen que reconocer que la sustentabilidad del recurso es un problema común y que todas las partes deberán sacrificar algunas de sus aspiraciones por el bien común. La participación representa tener responsabilidad, reconociendo el efecto de acciones sectoriales sobre otros usuarios de agua y ecosistemas acuáticos, aceptando la necesidad de cambio para mejorar la eficiencia en el uso del agua y permitiendo el desarrollo sustentable del recurso (Mirassou, 2009)

La participación de la sociedad en materia de agua se encuentra dominada prácticamente por dos tipos de actores. Uno de estos actores son las organizaciones que se involucran en los problemas del agua, por lo regular son organizaciones nacionales o locales. En cuanto al segundo tipo se encuentran las organizaciones que están involucradas por la afectación del uso directo del agua, ya sea por un proyecto específico a escala local o respondiendo a políticas generales nacionales (Carabias & Landa, 2005).

En este contexto podemos evidenciar que aunado al involucramiento de las dimensiones de la sustentabilidad para el manejo integral, y efectivo del recurso agua se adicionan una serie de elementos que deben desarrollarse para fortalecer el marco del modelo. En la figura 1, se rescatan tres elementos centrales: el ambiente propicio que

involucra un marco regulatorio de políticas y legislaciones nacionales, los roles de las instituciones y las funciones de los diferentes niveles administrativos y por último los instrumentos de manejo.

Figura 1. Marco general para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos: Fuente: Global Water Partnership (GWP), 2000.



Para lograr implementar un modelo de gestión que se construya desde la cuenca hidrográfica es necesario, la construcción de espacios de participación o foros de discusión entre las instituciones, la ciudadanía y la empresas, para generar políticas públicas desde lo local. El papel de las instituciones<sup>8</sup> se debe apoyar de esta participación en la elaboración diagnóstica del problema, elaborar el ordenamiento del agua, es decir los pobladores y las instituciones deben trabajar de manera conjunta en un marco de políticas e instrumentos ambientales (Paré & Robles, 2004). En consecuencia, la planificación social resulta un puente para transitar hacia una gestión integral del recurso hídrico con enfoque desde el territorio.

### A manera de conclusión

El recurso agua como elemento esencial para la vida, debe ser gestionado a partir de un modelo que asegure un uso óptimo, y sostenible para el desarrollo económico, social, mientras se protege y mejora el valor ecológico del ambiente. Este enfoque requiere: crear un marco legal e institucional que favorezca la aplicación de estos

<sup>8</sup> Se entiende por instituciones "al conjunto de comportamientos regularizados que emergen de estructuras de normas, reglas, regulaciones y convenciones en una sociedad, lo que permite a sus habitantes y grupos tanto actuar como negociar"



principios, acompañado de herramientas de trabajo, y de metodologías para su implementación. Bajo este entendido, es necesario transitar hacia modelos de ordenamiento territorial, como un instrumento que permite que el hombre se relacione de acuerdo a la capacidad de regeneración del patrimonio natural con el que cuenta, y con ello no continuar con la misma tendencia de deterioro del medio ambiente. El gran reto es la revalorización del recurso agua ya que nos encontramos ante una crisis hidrológica, causada por una visión reduccionista que gestiona el recurso agua, sólo como un bien económico y desplaza a los actores sociales con políticas públicas que benefician a este sector.

Es evidente que la producción de aguacate en Michoacán se mueve bajo esta visión reduccionista, donde el agua se convierte en un bien económico que pasa a un proceso de mercantilización, lo cual lo desnaturaliza de su proceso natural de su complejidad ecológica y se convierte en materia prima del proceso económico. En este sentido, se requiere de cambios en la forma en que se planifican, se administran, se ejecutan los programas y acciones, además es urgente generar y aplicar políticas públicas encaminadas a un uso óptimo del recurso agua en el caso de la producción de aguacate.

## **Bibliografía**

- Bozzano, H. (2009). Territorios: El Método Territorii. Una mirada territorial a proyectos e investigaciones no siempre territoriales. Salerno, Italia: HAL.
- Carabias, J., & Landa, R. (2005). Agua, medio ambiente sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- De la Tejera Hernández, B., & et.al. (2013). El oro verde de Michoacán: ¿Un crecimiento sin fronteras? Acercamiento a la problemática y retos del sector aguacatero para el Estado y la sociedad. Economía y Sociedad, 15-40
- Frutos Mejía, L. (2006). El agua como factor de desarrollo rural. Revista de Geografía, 51-68.
- Leff, E. 2002. Más allá del desarrollo sostenible: La construcción de una racionalidad ambiental para la sustentabilidad: Una visión desde América Latina. Instituto Nacional de Ecología (INE), Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUMA).
- Mirassou, S. (2009). La gestión integral de los recursos hídricos: aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad del agua. FLACSO.
- WWAP. (2016). Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016: agua y empleo. Paris, Francia: UNESCO.
- WWF. (1986). Thirsty Crops. Our food and clothes: eating up nature and wearing out the environment? Living Waters Booklet. Los países Bajos: WWF.

# **ID-205: METAVALORACIÓN DEL ENFOQUE DE CUENCA SOCIAL COMO MODELO DE GESTIÓN DEL TERRITORIO. EL CASO DE SENDAS, A.C. MIEMBRO DE LA COALICIÓN DE ORGANIZACIONES DE LA BIO-REGIÓN JAMAPA-ANTIGUA (COBIJA).**

Julio César Mendoza Marín\_Autor 1<sup>a</sup>, Danú Alberto Fabre Platas\_Autor 2<sup>b</sup>, Georgina Vidriales Chan3<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Afiliación1, MGAS-Universidad Veracruzana, jmendozam\_@hotmail.com

<sup>b</sup> Afiliación2, IIESES-Universidad Veracruzana, dfabre@uv.mx

<sup>c</sup> Afiliación3, SENDAS A.C., mix\_maak@yahoo.com

## **RESUMEN**

Este trabajo tiene como objetivo metavalorar cómo y en qué medida SENDAS A.C., como parte de la Coalición de Organizaciones de la Bio-región Jamapa-Antigua (COBIJA), reconfigura en sus diferentes intervenciones el enfoque de cuenca social como modelo de gestión del territorio, en la parte alta de la Cuenca Río La Antigua, ubicada en el centro de Veracruz, México. Ahora bien, para contextualizar parte de lo dicho, una metavaloración pretende valorar lo valorado mediante explicaciones causales que denoten cómo, ideológicamente y epistemológicamente, tanto los procesos como los resultados de las valoraciones y/o evaluaciones, son dotados de significados favorables o desfavorables. Así que, desde esta perspectiva, el ejercicio del concepto referido resignifica la realidad observada cotejando los supuestos que preceden entre un ejercicio y otro.

Dicho esto, se habla de metavalorar, ya que la asociación civil de interés realizó una autovaloración a fin de darse cuenta de qué tanto ha interiorizado el enfoque de cuenca social en sus diferentes quehaceres; por tanto, de manera paralela se planteó un proceso similar a éste; situación que brindó una mirada externa y contrastante sobre los resultados obtenidos del primer ejercicio.

De igual manera, es importante anotar que dado que el proceso metavalorativo se articuló en tres sentidos: i) desde la microhistoria del territorio, a fin de analizar la pertinencia del quehacer de la organización de interés en su área de cobertura; ii) desde la descripción de la autovaloración que la misma asociación realizó sobre su quehacer y; iii) desde los criterios, componentes y estructura de los indicadores trazados para este proyecto, así como los instrumentos diseñados para su aplicación y análisis; por el número de cuartillas requeridas para la exposición se decidió centrarse exclusivamente en el punto tres de lo comentado, ya que éste es medular al contener parte de los resultados del segundo rubro.

Finalmente, vale la pena resaltar que en la actualidad no se cuenta con herramientas metavalorativas que escruten los procesos de adopción del enfoque de cuenca social, así que, por consiguiente, este trabajo nutre los elementos teóricos-metodológicos encaminados a valorar este tipo de sistemas de gestión.

**Palabras clave:** Cogestión, indicadores, territorio.

## **1 INTRODUCCIÓN**

Los modelos o sistemas de gestión ambiental son tan variados como las problemáticas que atienden, pues cada uno propone abordajes técnicos y conceptuales según las finalidades que persiguen. En este sentido, el trabajo que se presenta tiene como objetivo general: realizar una metavaloración que permitan visibilizar cómo y en qué medida SENDAS A.C., como parte de la Coalición de Organizaciones de la Bio-región Jamapa-Antigua (COBIJA), reconfiguran en sus diferentes intervenciones el enfoque de cuenca social<sup>9</sup> como modelo de gestión

---

<sup>9</sup> A pesar de no contar con las suficientes cuartillas para poder ahondar en el tema, conviene anotar que el enfoque de cuenca social como modelo, presenta contrapuntos conceptuales y prácticos con otros modelos de gestión (como el hidráulico o el de Gestión Integral de Recursos Hídricos), ya que: favorece la gobernanza en lugar de la gobernabilidad; concibe el espacio no como un territorio normado, sino como uno vivido que alberga territorialidades; construye desde los diferentes actores sociales que inciden sobre sus recursos naturales, un proyecto de cogestión, es decir, se basa en procesos participativos y; abandonando las contradicciones del desarrollo sustentable, se encamina hacia un buen vivir. Igualmente, si la lectora o lector lo desea puede consultar el texto titulado *“Miradas conceptuales y técnicas en torno al enfoque de cuenca social como modelo de gestión del territorio”*; mismo que se presentó en este congreso como parte de la Mesa 9. Políticas públicas, instrumentos de planeación, y articulación institucional.



del territorio, en las subcuencas Xilontla, Paso Grande y Bajo Huitzilapan, pertenecientes a la cuenca Río La Antigua.

Sobre lo dicho, cabe aclarar que la coalición mencionada es un conjunto de siete asociaciones civiles que unieron esfuerzos a mediados del 2015 en el marco del proyecto “C-6 Cuencas Costeras para el Cambio Climático”, dado que se percataron que colaborar en red puede ser una forma más eficiente de incidir sobre su área de cobertura. Del mismo modo, se agrega que las organizaciones que competen son, sumas a la señalada: Global Water Watch-México (GWW), Conecta Tierra, Estudios Rurales y Asesoría Campesina-Veracruz (ERA-Veracruz), INANA y el Centro de Desarrollo Comunitario (CEDECO).

Ahora bien, entrando en materia y haciendo alusión al objetivo general que guio a este trabajo, hay que hacer tres anotaciones: sobre la primera es importante resaltar que en la actualidad no se cuenta con herramientas metavalorativas que escruten los procesos de adopción del enfoque de cuenca social, así que, por consiguiente, este trabajo no solo nutre los elementos teóricos-metodológicos encaminados a valorar este tipo de sistemas de gestión, sino que, además, permite a las asociaciones civiles que deseen incursionar en este campo percatarse si están, o no, laborando bajo este paradigma y, de hacerlo, valorar si desean continuar con este esquema trabajo.

En cuanto a la segunda anotación, se habla de metavalorar, ya que las asociaciones civiles que integran a la coalición comentada decidieron realizar una autovaloración que les permita darse cuenta de qué tanto han interiorizado el enfoque de cuenca social en sus diferentes quehaceres. Para esto, tomando como base el “*Esquema General de Componentes y Aspectos de la Metodología de Cuenca Social*” (herramienta técnica diseñada por éstas) y los “*Componentes organizacionales del enfoque de cuenca social*” (ideal organizacional de las mismas), las organizaciones iniciaron el ejercicio competente; por tanto, de manera paralela se planteó –bajo una mirada externa- un proceso similar a éste. Dicho esto, la metavaloración en este trabajo se puede entender como:

[...] dar sentido y explicar el significado del conjunto de actividades humanas que denominamos evaluación en una situación concreta. Más allá de una clarificación terminológica, el propósito [...] es la explicación de una evaluación como un proceso social complejo. Se refiere al abordaje del objeto –la evaluación- lidiando directamente con la complejidad no solo en cuanto red de acciones sociales sino también en sus referentes y explicaciones de carácter axiológico, ideológico y epistemológico, especialmente (Díaz y Rosales, 2003, p. 40).

Finalmente, sobre el tercer punto es necesario comentar que a pesar de que la COBIJA se encuentra integrada por siete asociaciones civiles, dado que el proceso metavalorativo se encuentra en una fase inicial, solo fue posible exponer los resultados de la asociación civil conocida como: Senderos y Encuentros para un Desarrollo Autónomo Sustentable (SENDAS A.C.).

## **2 PROCESO METODOLÓGICO**

### **Indicadores para la incorporación del enfoque de cuenca social (ECS) en algunos elementos organizacionales de la asociación civil**

Cuando se hace referencia al análisis de una organización, tanto Richard Hall (1996), como Clegg, Lawraence y Nord (2017), señalan que hay que tomar en cuenta el quehacer al que se dedica, su estructura, los procesos que se dan al interior de ella, el medio ambiente organizacional en el que se desenvuelve y los elementos que derivan de ellos; es decir, cada componente implica considerar un entramado de relaciones, factores y piezas para su comprensión; situación que requiere de una selección de los puntos en los que se desea focalizar el estudio.

En lo que compete a este trabajo y específicamente al grupo de indicadores de esta sección, la selección de los elementos a metavalorar se tomaron de los *Componentes organizacionales del enfoque de cuenca social* que articularon las asociaciones civiles de interés, con el fin de enmarcar sus acciones en un “deber ser” conjunto; mismos que se encuentran divididos, grosso modo, en: 1) visión y valores en donde se refleja políticamente el ECS, 2) organización interna estratégica para adoptar el ECS, 3) planeación de proyectos a corto y mediano plazo y trabajo comunitario, 4) gestión de recursos financieros, 5) capacitación e investigación acción participativa y 6) vinculación e incidencia en políticas públicas.

De antemano, el primer elemento descartado fue el sexto, ya que su naturaleza compete más a un indicador de impacto o de resultado que a uno de eficacia; decisión que se complementó al considerar que la gestión que se



pretende valorar se encuentra en un proceso incipiente y no avanzado. El segundo punto excluido fue el cinco, pues al ser un elemento específico de los “*componentes organizacionales*” descritos, y parte transversal del *Esquema General de Componentes y Aspectos de la Metodología de Cuenca Social*, requiere ser visualizado por separado, debido a que tal parece ser relevante en el quehacer de las asociaciones. Finalmente, el punto tres por referirse a la planeación de proyectos fue contenido en la última sección de indicadores.

Habiendo descartado los puntos referidos, se prosiguió a establecer las variables que engloban a los tres elementos organizativos restantes que pueden ser valorados por indicadores de eficacia enmarcados en procesos de gestión. La primera corresponde a la política interna requerida para indicar si la asociación civil cuenta con los mecanismos de contratación, capacitación de personal y de gestión de recursos (humanos, materiales) acordes al ECS. La segunda, compete al conocimiento sobre las amenazas y fortalezas territoriales que la organización tiene sobre su área de cobertura y, en tercer lugar, si la asociación civil (A.C.) cuenta con los mecanismos de comunicación apropiados para dar a conocer los objetivos de su gestión.

Ahora bien, ¿lo propuestos en el párrafo anterior de dónde emana? Quizá se puede explicar de la siguiente manera: las seis categorías de la COBIJA se encuentran integradas por 20 criterios para su conformación y 50 estándares de los que se desagregan 70 indicadores; elementos que en su conjunto no pueden ser valorados en el sentido que se proponen para este trabajo, dado que existen puntos que requieren de una tipología diferente de indicadores; por tanto, se acotó el universo de análisis a partir del diseño de variables e indicadores que cubrieran, no en su totalidad, pero sí representativamente (ver tabla 1), los objetivos que las asociaciones civiles plasmaron en su “deber ser organizativo”.

Tabla 1. Ficha técnica resumida de los tres bloques de indicadores (elaboración propia).

Datos generales de la ficha técnica de indicadores				
Tipo de indicador	Total de variables	Total de indicadores	Tipo de medición	Tipo de verificación
Eficacia	9	18	Escala Likert	Documental
Elementos específicos				
Bloques de indicadores	Variables	Indicadores	Abreviatura	
Incorporación del ECS	Política institucional	Política de gestión de recursos con ECS	A1	
		Política laboral con ECS	A2	
	Medio Ambiente organizacional	Conocimiento del encorno	A3	
		Conocimiento del contorno	A4	
	Comunicación	Mecanismos de difusión y divulgación	A5	
		Mecanismos de comunicación	A6	
IAP	Integración de la IAP	Enfoque de los proyectos	B1	
		Diseño de los proyecto	B2	
	Participación	Espacios de participación	B3	
		Papel del coordinador o coordinadora	B4	
	Decisión	Papel del coordinador o coordinadora	B5	
		Objetivos y metas	B6	
Diseño de proyectos	Aspectos biofísicos	Enfoque de trabajo	C1	
		Investigaciones realizadas	C2	
	Elementos socioculturales	Intereses socioculturales de los participantes	C3	
		Investigaciones realizadas	C4	
	Aspectos económicos	Proceso y tipos de comercialización	C5	
		Investigaciones realizadas	C6	

### Indicadores de Investigación Acción Participativa (IAP)

A manera de introducción, la IAP implica concebir a los miembros de una localidad no como objetos de estudio, sino como agentes de cambio, que durante el proceso de una investigación se percatan de sus problemas, promueven soluciones a éstos y generan conocimiento y reflexiones de su realidad (Balcazar, 2003). Igualmente, de acuerdo a Sirvent y Rigal (2014), este método es un modo de hacer ciencia de lo social que se basa en la participación real de los actores sociales que se involucran en el proceso; por lo cual, partiendo de tres objetivos, es decir: i) generar conocimiento colectivo de la realidad, ii) fortalecer la organización y participación de los



colectivos y iii) articular mecanismos que permitan modificar positivamente las condiciones de vida en las que se encuentran los involucrados; se pretende entretejer dinámicas de colaboración, aprendizaje y acción sobre las problemáticas que se deseen tratar.

Dicho esto, la razón por la que se propone la IAP como un punto a metavaloración, se debe a que una de las directrices en las que se desenvuelve la coalición de interés atiende a ésta, pues tanto el *Esquema General de Componentes y Aspectos de la Metodología de Cuenca Social*, como los *Elementos organizacionales del enfoque de cuenca social* –documentos en donde se fundamenta su quehacer y deber ser– se encuentran permeados por esta forma de actuar. Por consiguiente, se retomaron los principios epistémicos de la IAP como puntos focales para la elaboración de las variables e indicadores de esta sección (ver tabla 1); es decir, se hace referencia a la participación real, la reflexión continua y la decisión colectiva.

### **Indicadores para el diseño y ejecución de proyectos**

Al igual que en el primer bloque, el conjunto de variables e indicadores que se proponen para este trabajo partieron del análisis de un texto elaborado por los miembros de la COBIJA, y que lleva por nombre: *Seminario para la construcción compartida de un enfoque de gestión territorial de cuenca* (2017), y del cual se desprende el *Esquema General de Componentes y Aspectos de la Metodología de Cuenca Social*. El propósito de este último es brindar los elementos técnicos que guían las iniciativas que se encuentran realizando las asociaciones civiles que conforman a la coalición mencionada.

A grandes rasgos, la herramienta técnica está integrada por seis componentes que desde la visión de las organizaciones debe tener una gestión con enfoque de cuenca social: el primero hace alusión a los factores biofísicos, el segundo se refiere a la información sociocultural que distingue a las poblaciones, consecuentemente se encuentran los procesos económicos del territorio, en cuarto lugar se presenta la cuenca como espacio de políticas públicas y, finalmente, el sexto componente es el contexto que brinda información en cuanto a las amenazas y fortalezas latentes en el área de cobertura.

Los componentes descritos someramente se encuentran integrados por una serie de elementos, es decir, 28 aspectos y 119 variables totales que conforman el *Esquema General de Componentes y Aspectos de la Metodología de Cuenca Social*; razón por la que se decidió –dada la amplitud de temas– desagregar los puntos que pueden ser valorados bajo indicadores de eficacia enmarcados en un proceso de gestión y no de resultados.

Ante tales consideraciones, en primera instancia se decidió descartar los componentes cinco y seis, ya que éstos, de acuerdo a Clegg et ál. (2017) y Hall (1996), pueden ser parte del medio ambiente organizacional, pues son factores que, tanto al interior como al exterior de una asociación, demarcan amenazas u oportunidades; por tanto, fueron incluidos en el primer bloque de indicadores.

Posteriormente, se prescindió del punto cuatro, ya que al igual que en el primer bloque, incidir en la cuenca en materia de política pública puede ser el resultado de un proceso; situación que por el momento no compete a este trabajo, pues lo que se está valorando es la incorporación del enfoque de cuenca social en el quehacer de las asociaciones civiles de interés, y no los productos generados.

Finalmente, como parte de la selección de elementos a valorar, se optó por diseñar variables e indicadores que atendieran a los proyectos (ver tabla 1), pues es en este sentido que el quehacer específico de cada organización puede compararse con los presupuestos técnicos que las mismas asociaciones civiles propusieron; por tanto, este bloque busca valorar si las acciones que se emprenden se encuentran integradas tanto en el diseño como en la ejecución, por los ejes ambientales, socioculturales y económicos.

### **De los indicadores a las herramientas para su aplicación**

De manera paralela a lo que se ha venido comentado, el primer instrumento que se diseñó para ser aplicado a las fue un test que concentra el conjunto de los 18 indicadores; mismos que fueron articulados de acuerdo a los bloques que les compete, es decir, si pertenecen a los elementos organizacionales, incorporación de la IAP o diseño y aplicación de proyectos. Del mismo modo, cada ítem de la prueba (indicador) presenta una escala de respuesta tipo Likert con cinco opciones de respuesta, por lo que el valor máximo a obtener por Ítem fue cinco, mientras el mínimo uno. Por ejemplo, el primer indicador trata de indagar si la asociación civil cuentan con una política con enfoque de cuenca social encaminada a la gestión de recursos financieros y/o materiales; donde el valor más alto



sería contestar que “*sí existe*” (5 puntos), descendientemente seguiría “*se está trabajando en ella*” (4 puntos), en un punto medio se encontraría “*se pretende establecer*” (3 puntos), consecuentemente estaría “*se está considerando*” (2 puntos) y se terminaría con “*aún no se considera*” (1 punto).

Cabe anotar que en cuanto a la calidad y veracidad de respuestas, atendiendo a los posibles vacíos de información emanados de la subjetividad valorativa que pudieron surgir por parte de los partícipes de la prueba, se optó por adjuntar a ésta una lista guía de documentos y/o actividades, con el fin de que los involucrados cotejaran si lo dicho tenía un sustento en hechos concretos o eran impresiones personales.

En este mismo sentido, a la prueba se le adjuntó una columna para que los miembros de la A.C. explicaran los códigos seleccionados. Por ejemplo: el primer ítem que corresponde al bloque de elementos organizacionales, y que buscó valorar si la asociación ha establecido de manera legal o internamente la visión, ideales u objetivos del enfoque de cuenca social; a la par de su posible respuesta y códigos de cotejo, contó de explicaciones en cuanto al porqué del documento y/o actividad seleccionada.

Dicho esto, las escalas valorativas, los códigos de documentos como forma de cotejo y la descripción de éstos, fueron los medios de fiabilidad para la obtención de información. En cuanto a la aplicación de las herramientas, se dio en dos sentidos: i) el test fue contestado por la mayoría de los miembros que conforman a la asociación, con el fin de obtener un panorama general de la situación y; ii) paralelamente los miembros de la asociación contrastaron y apoyaron sus respuestas con el *Esquema General de Componentes y Aspectos de la Metodología de Cuenca Social*, pues se tomó como una guía para que la organización discutiera qué tanto han trabajado con este modelo de gestión.

### Sobre el proceso de contraste de la metavaloración

Una forma de exponer los resultados de la metavaloración sería presentar lo hallado en el ejercicio valorativo de SENDAS A.C., posteriormente abordar la información que se recabó a partir del test que el que suscribe diseñó y consecutivamente realizar un contraste de ambas actividades; sin embargo, para evitar una suma exhaustiva de cuartillas, cuya lectura sería cansada y difícil de seguir, se decidió presentar el tema que compete solo en dos sentido, es decir, en un primer momento se desarrollan las reflexiones de esta asociación y en el segundo éstas se integran en el análisis metavalorativo. Ahora bien, el proceso comentado se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Los bloques de indicadores se relacionaron con los componentes contenidos en la guía valorativa diseñada desde la coalición;
- Se establecieron relaciones entre los promedios de los indicadores del test metavalorativo y los criterios de la guía valorativa, y;
- Se relacionaron y cotejaron las respuestas entre los indicadores del test metavalorativo y los criterios de la guía valorativa.

Aunado a lo anterior, en la tabla 2 se esquematiza cómo se trabajó el proceso de cotejo de ambas pruebas; por ejemplo, el lector o lectora puede observar que para el análisis del primer bloque de indicadores, es decir del A1 al A6, se establecieron dos columnas que señalan las puntuaciones de ambos ejercicios, y horizontalmente se establecieron relaciones entre los criterios de los componentes de la guía valorativa con los indicadores y variables del test metavalorativo.

Tabla 2. Cotejo de información entre valoraciones (elaboración propia).

Componentes	Criterios	Puntuaciones promediadas		Indicador	Bloque	Variable por bloque
		Val.	Meta.			
1. Visión, valores y estrategias	1.1 Inclusión del ECS en la visión, estrategias y planes de acción.	4.5	5	A1 y A2	1	1
	1.2 Integración de los habitantes.	4	4	B5 y B6	2	3
2. Organización Interna	2.1 Promoción del ECS.	3.5	5	A1 y A2	1	1
	2.2 Participación y diversidad.	5	5	A1 y A2	1	1
			4	B5 y B6	2	3
			5	C1 y C2	3	1



	2.3 Instalaciones y actividades.	4	Descartado			
	2.4 Autoevaluación interna.	4	5	C3 y C4	3	2
3. Planeación a corto y mediano plazo, trabajo comunitario	3.1 Colaboración entre las organizaciones.	5	5	A3 y A4	1	2
	3.2 Proyectos que consideran el ECS.	4.5	5	B3 y B4	2	2
			5	C1, C2, C3, C4, C5 y C6	3	1, 2 y 3
	3.3 Relación con los habitantes de la CS.	4.2	5	A3, A4, A5 y A6	1	2 y 3
4. Gestión de Recursos	4.1 Financiamiento en línea con el ECS.	3.5	5	A1 y A2	1	1
			5	C5 y C6	3	3
	4.2 Elaboración de proyectos con ECS.	4.6	5	C5 y C6	3	3
	4.3 Estrategias colaborativas.	4.25	5	C5 y C6	3	3
5. Capacitación e Investigación-Acción	4.4 Sensibilización del personal.	5	5	A1 y A2	1	1
	5.1 Capacitadores / promotores con ECS.	3.3	5	A1 y A2	1	1
	5.2 Espacios de diálogo, reflexión y acción.	2.5	Descartado			
	5.3 Materiales educativos sobre la CS.	4	4	B1-B6	3	1, 2 y 3
	5.4 Difusión de los logros con ECS.	1	Descartado			
6. Vinculación e incidencia en políticas públicas	6.1 Alianzas estratégicas en la cuenca y con cuencas vecinas.	5	Para este punto se tomaron las respuestas de las preguntas abiertas del test diseñado para la metavaloración.			
	6.2 Participación ciudadana para incidir en políticas públicas.	2				
	6.3 Defensa de la CS contra amenazas.	2.25				

Siguiendo con los ejemplos, bajo esta lógica los indicadores A3 y A4 que competen a la variable medioambiente organizacional pudieron ser contrastados con los valores y respuestas los criterios 3.1 y 3.3 (colaboración entre organizaciones y relación con los habitantes de la cuenca social) que pertenecen al componente planeación a corto y mediano plazo. Del mismo modo, es importante dejar en claro que un indicador puede atender a varios criterios y viceversa, por tanto, en la tabla 2 se puede observar con cuánta frecuencia aparecen cada uno de estos elementos.

Por último, parece prudente aclarar que los rubros que aparecen con la leyenda “descartado” se omitieron, ya que no fueron de interés para este trabajo recepcional, ya sea porque se dirigían al papel global de la coalición y no al de las organizaciones (5.4) o por su redundancia con otros criterios (5.2).

### 3 RESULTADOS DE LA METAVALORACIÓN DE SENDAS A.C.

#### Sobre el primer bloque de indicadores: incorporación del ECS en algunos elementos organizativos de la A.C.

De manera general, este conjunto de indicadores se relaciona directamente con los primeros tres componentes de la herramienta que la coalición diseñó para su autovaloración; es decir, dada su naturaleza institucional se hace referencia a: i) la visión, valores y estrategia; ii) organización interna y; iii) planeación a corto y mediano plazo. Del mismo modo, si el lector o lectora se remonta a la tabla 2 que contienen los puntajes del ejercicio, podrá percatarse que los miembros de esta asociación civil se calificaron con notas altas; situación que se repite en los resultados del test metavalorativo, pues los indicadores A1 y A2 (ver tabla 2) que atienden a la “política institucional”, alcanzaron los valores máximos; es decir, un valor promediado de 5 puntos.

Ahora bien, en lo que refiere a este bloque, los indicadores A1 y A2 que atienden a la “política institucional”, denotan buenas puntuaciones, ya que ambos obtuvieron un total de 5 sobre 5; hecho que los ubicó en un panorama muy favorable. Igualmente, el contraste de estos resultados con los criterios del instrumento valorativo de la coalición, compartió similitud con los datos obtenidos; es decir, 1.1.1 inclusión del ECS en la visión, estrategias

y planes de acción (4.5 pts.), 2.1 promoción del ECS (3.5 pts.), 4.1 financiamiento con ECS (3.5 pts.), 4.4 sensibilización del personal (5 pts.) y 5.1 capacitadores con ECS (3.3 pts.), develaron lo siguiente:

- A pesar de que el ECS no se encuentra establecido en el objeto social de la asociación civil, el diseño de proyectos, diagnósticos, publicaciones y demás actividades, durante varios años han sido realizados bajo esta visión.
- El grueso de la política institucional que había estado en el discurso y en la praxis, este año se ha formalizado mediante una Planeación Estratégica a cinco años (2019-2024).
- Los miembros de la organización conocen y aplican en sus actividades el enfoque competente; pues integran en sus planes de trabajo los elementos técnicos de este modelo de gestión.
- Mediante talleres y seminarios el equipo de esta asociación se capacita sobre los ideales del ECS.
- No existe una política regulada sobre la gestión de recursos económicos y/o materiales, sin embargo, esta asociación solo labora con instancias que no transgreden los ideales del ECS.

Ahora bien, sobre el contraste de resultados hay que tener presente lo siguiente, a primera vista los valores de ambos ejercicios pueden distar de similitud; sin embargo, es necesario recordar que mientras que el instrumento diseñado para la metavaloración se encuentra conformado por 18 indicadores, el de la coalición contiene a 70 de ellos, mismos que –como ya se ha comentado– no fueron atendidos en su totalidad, ya que algunos tendrían que entrar en la categoría de indicadores de resultado o impacto. Por consiguiente, se toman como referencia las puntuaciones, pero como parte de la reflexión sobre las respuestas, pues como se verá en las consideraciones finales de este ejercicio, la autovalorativo de SENDAS A.C. se pudo ver afectado por el mismo instrumento que se erigió desde la coalición.

Continuando con la exposición, como se puede ver en la tabla 2, la puntuación de los indicadores A3 y A4 que atiende al “medio ambiente organizacional” es alta, pues alcanzó un valor de 5 sobre 5 (respectivamente). Por consiguiente, SENDAS A.C., presenta un estado muy favorable en cuanto al conocimiento sobre las amenazas y fortalezas presentes en su área de cobertura; postura que se comparte desde algunos criterios contenidos en el instrumento valorativo de la coalición (3.1. colaboración entre las organizaciones con 5pts. y 3.3 relación con los habitantes con 4.2 pts.), ya que ambos resultados coninciden en que:

- Se informan sobre lo que acontece en el territorio mediante las juntas de coordinación realizadas cada semana, trabajo de campo, asambleas ejidales e investigación documental.
- Han trazado alianza con el sector gubernamental y la sociedad civil a fin de incidir activa e íntegramente sobre el territorio.

Para finalizar este bloque, y de manera similar a lo expuesto, los indicadores que atienden a la variable “comunicación” obtuvieron los valores máximos (A5 y A6 con 5 puntos respectivamente); situación que los ubicó en una escala muy favorable, pues conjugando estos resultados con los obtenidos en el criterio 3.3 de la valoración (relación con los habitantes de la CS), se encontró que:

- Se emplean medios de difusión y divulgación para dar a conocer las actividades que se realizan, como: publicaciones (en revistas, libros, periódicos, páginas web), participación en foros, visitas a la televisión y radio, entre otros.
- La asociación cuenta con canales formales e informales de comunicación para organizar y ejecutar sus actividades; sin embargo, dada su rapidez y eficacia optan por los segundos, como: juntas de coordinación y grupos en WhatsApp.

### **Sobre el segundo bloque de indicadores: incorporación de la Investigación Acción Participativa en el quehacer de la organización**

Prosiguiendo con este segundo bloque, como se puede ver en la tabla 2, los indicadores B1 y B2 que atiende a la “integración de la IAP” obtuvieron de manera similar 4 puntos sobre 5; hecho que los ubica en una posición favorable, y que en contraste con el componente capacitación e Investigación-Acción y el Plan Estratégico a cinco años (2024) de SENDAS A.C., se puede decir que:

- La incorporación de la IAP en el diseño y ejecución de proyectos depende de la naturaleza de éstos, ya que si bien la visión general con la que trabaja la organización se basa en modelos colaborativos, su grado



de aplicación varía de acuerdo al proceso que se quiera impulsar; es decir, en la planeación se considera si la iniciativa es de carácter técnico, un nuevo proyecto, el tipo de participante y demás factores que inciden sobre esta forma de laborar.

En lo referente a la segunda variable del test diseñado para la metavaloración, es decir “los espacios y formas de participación”, los resultados de los indicadores B3 y B4 (ver tabla 2), fueron ubicados en una escala muy favorable, pues alcanzaron los puntos máximos (5 respectivamente); situación que se comparte en los datos que arrojó el criterio 3.2 criterios que consideran el ECS (4.5 pts.), al señalar que:

- La participación se da en dos sentidos: el primero se presenta al interior de la organización y en gran parte compete solo a sus miembros, pues ante proyectos técnicos o iniciativas que vienen acompañadas de una normatividad externa, el tipo de diálogo que se entabla toma un carácter técnico, administrativo y/o directivo; mientras que en un plano paralelo, la operación de esas iniciativas se construyen con la gente mediante sus intereses y puntos de vista. Por tanto, en cuanto a La asociación civil de interés erige en su Plan Anual y Plan Estratégico un conjunto de estrategias que consisten en conjugar el conocimiento, intereses y necesidades locales, con las iniciativas que realiza.
- La asociación civil de interés erige en su Plan Anual y Plan Estratégico un conjunto de estrategias que consisten en conjugar el conocimiento, intereses y necesidades locales, con las iniciativas que se realizan.

Casi para concluir este bloque, en lo que compete a la toma de decisiones, tanto los indicadores B5 y B6 (ver tabla 2) como los criterios de la guía valorativa 1.2 integración de los habitantes (4 pts.) y 2.2 participación y diversidad (5 pts.), arrojaron que:

- Las coordinadoras y coordinadores de proyectos solo facilitan la toma de decisiones, pues tratan de no inducir actitudes o posturas en los ejidatarios y demás participantes.

Finalmente, es importante comentar que se hubiese esperado obtener un mayor número de datos del componente capacitación e investigación-acción que propuso la asociación para valorar el tema que compete; sin embargo, dado que el conjunto de sus indicadores gira en torno al trabajo y difusión del ECS, hubo que proseguir a extraer generalidades de todo el instrumento para poder conjugarlo con el que diseñó el que suscribe.

### **Resultados del tercer bloque de indicadores: diseño y ejecución de proyectos**

Como se puede ver en la tabla 2, los indicadores C1 y C2 que atienden a los “aspectos biofísicos” de la cuenca lograron la puntuación máxima; es decir, un valor sumado de 5 sobre 5. Por tanto, se encuentra en una escala muy favorable; panorama que comparten los criterios 2.2 participación y diversidad (5 pts.) y 3.2 proyectos que consideran el ECS (4.5) contenidos en la guía valorativa, pues develan que:

- La organización ha realizado investigación de diferentes índoles sobre su área de cobertura (social, económica, ambiental, etc.), sin embargo, se reconoce que una parte de esta información no está actualizada, mientras que otra no se encuentra sistematizada.
- La asociación procura que sus proyectos sean realizados bajo enfoques integrales de manejo y conservación.
- Con brigadistas comunitarios han hecho monitoreos sobre la cobertura forestal, cuentan con estudios socioambientales sobre Texolo-Huehayan, se encuentran actualizando las imágenes de la cobertura forestal y zonas prioritarias de la subcuenca del Río Pixquiac y han realizado diagnósticos y publicaciones sobre su área de cobertura.

En cuanto a los indicadores C3 y C4, ambos al obtener una puntuación de 5 y al contrastarlos con el criterio 3.2 proyectos que consideran el ECS (4.5 pts.) de la guía valorativa, alcanzaron un estatus muy favorable (ver tabla 2). Esto, en lo que refiere al conocimiento sociocultural con el que cuenta la asociación sobre su área de cobertura, se traduce en dos sentidos:

- Se procura que el diseño y planeación de proyectos converjan con los intereses socioculturales de los participantes, ya que en asambleas integran los diferentes puntos de vistas que giran en torno a un tema o temas de interés.
- La organización ha guiado tesis sobre estos rubros, cuenta con diagnósticos sociales, narrativas sobre la historia de los poblados y ha colaborado con el Centro de Estudios de Opinión y Análisis.



Por último, en cuanto al contraste de “los procesos económicos” abordados desde los indicadores C5 y C6 y los criterios 2.4 autoevaluación interna (4 pts.), 3.2 proyectos que consideran el ECS (4.5 pts.), 4.1 financiamiento en línea con ECS (3.5 pts.), 4.2 elaboración de proyectos con ECS (4.6 pts.) y 4.3 estrategias colaborativas (4.25) –al igual que las variables que anteceden- presenta un panorama muy favorable (ver tabla 2), pues la organización:

- Procura realizar estudios sobre costos de producción e ingresos en lo referente a los insumos que impulsa, cuenta con valoraciones hacia los productores, impulsa la producción bajo esquemas agroecológicos, los precios que manejan se establecen a partir de los costos de producción y no del mercado y la forma de comercialización evita a los intermediarios.
- El proyecto del biomercado es un esfuerzo que es importante, pues las ganancias adquiridas son utilizadas para pagar el salario de la persona que está a cargo del proyecto.
- El apoyo local no solo se trabaja desde la red de productores, ecoturismo o la Cooperativa de mujeres La YerbaBuena, sino también en la preferencia que le da la asociación a los proveedores de bienes y servicios que se encuentran al interior de la cuenca, ya sea en el abastecimiento de insumos o contratación de personal.

Contextualizando el párrafo anterior, esta organización labora con dos clases de productores, los que se enfocan en el autoconsumo y quienes incursionan en el biomercado. Este último mediante una red llamada Pixcando comercializa los productos de las diferentes cooperativas y grupos con los que trabajan. Por ejemplo, entre éstos se encuentran: la Cooperativa de mujeres de La YerbaBuena de Vega del Pixquiac, cuyo quehacer es la producción de cosméticos con materiales naturales; el proyecto de las canastas básicas que recolecta las hortalizas y demás productos de campesinos y campesinas a fin de ubicarlas en un mercado justo; o el proyecto de papa agroecológica que maneja dos enfoques, de mano a mano entre campesino y comprador y el de transformación en frituras que igualmente evita intermediarios.

A lo dicho hay que sumarle que cada iniciativa lleva un seguimiento desde la asociación civil, donde procurando la calidad del cultivo, se establecen estándares de calidad que garantizan la confiabilidad de los productos; mismos que bajo un carácter técnico prohíbe el uso de agroquímico y demás sustancias dañinas tanto para el ser humano como para el entorno biofísico.

Aunado a lo anterior, otro proceso en el que está trabajando SENDAS A.C. es la autogestión de las canastas básicas; iniciativa que si bien en cuanto a los procesos de comercialización habían sido subsidiados en su totalidad por la organización, actualmente una pequeña parte del precio final de éstas es utilizado para cubrir el salario de la persona encargada de inventariar cada huerto, recoger lo producido, armar las canastas, entregarlas a los consumidores y realizar pagos, cobros y demás actividades que se vayan suscitando en el proyecto.

#### 4 CONCLUSIONES

Como ya se mencionó, la razón de no incluir en la metavaloración el carácter político de la gestión, es porque este rubro es más un resultado o impacto que la asociación puede presentar derivado de su quehacer; circunstancia que implicaría diseñar y aplicar instrumentos diferentes a los que se propusieron para este trabajo; sin embargo, teniendo en cuenta la importancia de este tópico, se continúa a comentar los datos que se encontraron en ambos ejercicios valorativos.

En principio, los resultados del sexto componente de los “*Elementos organizacionales del enfoque de cuenca social (ECS)*” señalan una incidencia muy baja sobre este rubro, pues dos de las tres calificaciones de los criterios que lo integran no sobrepasaron la media (6.1 alianzas estratégicas en la cuenca y con cuencas vecinas con 5 pts., 6.2 participación ciudadana para incidir en políticas públicas con 2 pts., y 6.3 defensa de la CS contra amenazas con 2.25 pts.); sin embargo, esto se debe a que parte de los indicadores se enfocan en el trabajo que se está haciendo desde la coalición, más que como organización, por lo que hasta cierto punto, esta situación desdibuja lo que SENDAS A.C. ha logrado en esta materia. Por tanto, haciendo alusión a la pregunta del test que aborda la incidencia en política pública, se puede decir que SENDAS A.C. en lo local ha colaborado en ordenamientos territoriales y ecológicos, a nivel municipal se encuentran participando en la Estrategia Integral de Recursos Hídricos para el abasto de agua de Xalapa y en lo estatal y federal ha participado en fondos concurrentes.

Al respecto del último punto, estos fondos consisten en la aportación financiera y en el “*convenio*” de dos sectores –la CONAFOR desde el federal y CMAS-Xalapa en lo local-, bajo el interés de los recursos hídricos que abastecen



a la ciudad de Xalapa. Sobre esto, la asociación ha realizado recomendaciones hacia las mejoras continuas del programa federal, propiciando cambios en las reglas de operación. Por ejemplo, en un inicio se buscaban las grandes extensiones de bosques, sin embargo, dado que en Veracruz la tenencia de la tierra no supera las cuatro hectáreas por ejidatario, se logró adaptar la iniciativa a la realidad del Estado.

Dejando de lado este tema, como se comentó hace un momento, la autovaloración que realizó parte del equipo de SENDAS A.C. se pudo ver afectada en su carácter numérico y quizá reflexivo por el mismo instrumento que se erigió desde la coalición, ya que el grueso de indicadores (70) y lo repetitivo de su contenido ocasionó que en varias ocasiones los presentes comentaran que convenía que la herramienta fuese revisada; por tal motivo, una impresión del que suscribe es que parte del ejercicio desesperó y estresó en varias ocasiones a los participantes. En consecuencia, tanto la subjetividad como los estados de ánimos que el que suscribe observó cambiaron a lo largo de tres horas y media y, por tanto, también la atención e interés hacia la actividad; hecho que a juicio personal puede justificarse por lo denso de la herramienta.

Por último, si se voltea la mirada hacia los resultados expuestos, tal parece que esta asociación civil ha adoptado de manera muy favorable este modelo de gestión; no obstante, si se toma en cuenta que su quehacer –durante varios años- se ha desenvuelto bajo esta visión y que, además, como experiencia permeó en la COBIJA, se debe considerar que quizá la asociación más que ser valorada en términos de adopción del enfoque podría ser analizada en términos del impacto de éste, pues su gestión bajo el ECS data desde 2005.

## 5 LITERATURA CITADA

- Balcazar, F. 2003. Investigación acción participativa (IAP): Aspectos conceptuales y dificultades de implementación. *Fundamentos en humanidades*, Vol. 4, Núm. 007-008, Universidad Nacional de San Luis, Argentina, pp. 59-77.
- Clegg, S., Hardy, C., Lawraence, T., Nord, W. (2017), “Tratado de Estudios Organizacionales”, Vol. 1. En: Ramírez, M., González, M. (Eds.) (2017). *Teorización sobre el campo*. (1ª Ed), Colombia, EAFIT.
- COBIJA. (2018). *Valoración de la internalización del Enfoque de Cuenca Social de COBIJA*. México. No publicado.
- COBIJA. 2017. *Seminario para la construcción compartida de un enfoque de gestión territorial de cuenca*. México. No publicada.
- Díaz, F y Rotsay, R. (2003), *Metaevaluación, evaluación de la evaluación de políticas, programas y proyectos sociales*, San José, Costa Rica: EUNED.
- Hall, R. 1996. *Estructuras, procesos y resultados*. México: PHI
- Sirvent, T. y Rigal, L. 2012. *Investigación Acción Participativa. Un desafío de nuestros tiempos para la construcción de una sociedad democrática*. Proyecto páramo andino. Recuperado de <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/32967>
- Sirvent, T. y Rigal, L. 2014. “La investigación-acción participativa como un modo de hacer ciencia de lo social”. En Merçon, J., Alatorre, G., García, H., y Núñez, C. (eds.). *Saberes para la acción en educación para adultos*. CREFAL, *Decisio*, Vol. 38, pp. 7-12.

# **ID-210: LA CO-PARTICIPACIÓN EN EL MANEJO DE CUENCAS: EXPERIENCIAS DEL REINO UNIDO Y LA SITUACIÓN DE MÉXICO**

MORENO PIÑA\_Paula Sofía<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ex-becaria CONACYT de la Maestría en Ciencias de la Universidad de Birmingham, Inglaterra  
Email: sofiamorenp@gmail.com

## **RESUMEN**

En los últimos años a nivel internacional ha surgido la necesidad y la demanda social por la conservación, protección y restauración de cuencas, por lo que el Manejo Integral de éstas ha sido un tema en auge que puede llegar a cubrir dichas demandas. Además de ser un enfoque que puede ayudar a enfrentar varios retos relacionados con la disponibilidad de los recursos naturales, principalmente del agua y así responder y mitigar las externalidades generadas en dichas unidades de gestión, causadas por las actividades socioeconómicas. Sin embargo, la integración de tal enfoque en las políticas públicas de los diferentes países se ha presentado de manera diversa, de acuerdo al contexto histórico, político, geográfico, social y económico en el que se han desarrollado. Donde la gobernanza, la participación social y la praxis resultan ser elementos clave en el éxito de dicho enfoque.

Es así que, resulta interesante conocer el avance que una nación económicamente desarrollada como lo es el Reino Unido, ha tenido en la aplicación del Manejo de Cuencas para conocer sus experiencias. Esto, debido a que ha mostrado evidencia del trabajo que ha logrado por ejemplo, en la recuperación del Río Támesis en Londres y de la incorporación de una de sus cuencas en un programa especial de la UNESCO por el nivel de integración de actores que ha tenido. Por otra parte, en México se han presentado avances pero su contexto de aplicación es un tanto diferente. Por lo que el objetivo no es realizar como tal una comparativa entre ambas naciones dadas las diferencias principalmente históricas y políticas, no obstante, es valioso mirar las experiencias que cada uno ha tenido para lograr el manejo de sus recursos vistos desde la cuenca como una unidad compleja y dinámica.

**Palabras clave:** Participación, cooperación, manejo, recursos.

## **1 INTRODUCCIÓN**

Las cuencas hidrográficas representan unidades estratégicas de análisis que permiten entender diferentes procesos tanto naturales (a través de sus características físico-químicas, geomorfológicas y ecológicas) como sociales al tiempo que se desarrollan en ellas actividades económicas que, de otra forma no serían posibles; y determinar los impactos sobre la red hidrográfica y la calidad y cantidad de sus recursos naturales (Ríos y otros, 2013). Dichas unidades son vulnerables a desastres cada vez más frecuentes y severos, lo que sin duda impacta directamente en la calidad de vida de los habitantes, de los recursos naturales y los servicios ambientales que brindan. Sujetas constantemente a disputas para determinar su propiedad y derechos del agua, muchas de éstas, con un nivel de explotación más allá del límite de su recuperación (Cótler, 2006).

Es por ello que ha surgido desde hace algunas décadas y a nivel internacional la incorporación en las políticas de las naciones el Manejo Integral de Cuencas (MIC) como una herramienta que se hace necesaria para la gestión del territorio y sus recursos y que podría definirse como un enfoque que intenta integrar todos los elementos posibles para desarrollar así acciones y/o proyectos encaminados a su uso, conservación y recuperación, de acuerdo al estado en el que se encuentre la cuenca .

Para ello, es fundamental en primer lugar, definir espacialmente las distintas unidades hidrográficas (cuenca, subcuenca, microcuenca, acuífero) ya que su manejo podría diferir de acuerdo con su tamaño; y en segundo lugar contar con suficiente conocimiento sus condiciones biofísicas, sociales y económicas, para entender con mayor precisión los procesos e interacciones que tienen lugar en el territorio y detectar así las externalidades que se generan, y que podrán ser objeto de atención. Además de que se pueden identificar e involucrar a todos los actores clave en su manejo, tanto los usuarios y propietarios del territorio como los gestores, autoridades (gobierno federal, estatal y municipal), instituciones, financiadores, sociedad civil y público en general.



La interconexión de estos actores debe estar definida por objetivos en común que tendrán que ser los ejes rectores que propicien un entorno de voluntad, cooperación, coordinación, y co-participación, sin olvidar que la cuenca a su vez es un espacio con múltiples interacciones entre sus sub-unidades, ecosistemas, gradientes (aguas arriba y aguas abajo), poblaciones (tanto rurales como urbanas), entre otros elementos. Sin este entendimiento y trabajo en equipo, el MIC difícilmente tendría lugar.

La base esencial o el objetivo en común del manejo de cuencas puede ser variable pero generalmente se centra en la conservación y regulación del capital natural o de las actividades humanas, el mantenimiento de servicios ecosistémicos y la restauración de las unidades hidrográficas para propiciar el desarrollo económico de las poblaciones (Ávalos & Pineda, 2008). Por lo que se hace indispensable que el equipo de trabajo en el manejo de cualquier cuenca sea multidisciplinario y con conocimientos (incluyendo el tradicional) y capacidades afines a los objetivos del proyecto. Además de definir claramente el rol que cada uno de ellos tendrá y las escalas espaciales y temporales de abordaje del problema (Cótler, 2006). Los elementos clave del MIC han sido expuestos ya en múltiples trabajos tanto teóricos como prácticos a nivel mundial, por lo que no es necesario recapitular cada uno de ellos pero si enfatizar a grandes rasgos lo fundamental de este enfoque en la gestión de las unidades hidrológicas, en cuyo planteamiento, la participación multisectorial es de gran relevancia.

Por esta razón y a manera de ejercicio exploratorio más que comparativo, resulta interesante mirar la manera de abordar el enfoque del MIC en un país desarrollado como lo es el Reino Unido, y por otro lado recapitular brevemente como ha sido este mismo proceso en México. Queda claro que una comparativa no tiene mucho sentido desde que son naciones con una evolución histórica totalmente diferente, además de necesidades y objetivos que difieren, aunque no son tan ajenos entre sí. Ambos países han alterado en gran medida la hidrología, morfología y ecología de sus cuencas y ríos como producto de ideologías de desarrollo económico, urbanización, construcción de obras hidráulicas, entre otros. Y es así que en momentos diferentes y bajo situaciones adversas ambos han emprendido acciones para revertir esta situación bajo el enfoque del MIC pero con diferentes alcances y a manera de prueba y error, dada la complejidad del enfoque que deja a un lado la gestión fragmentada y el mero desempeño institucional para interrelacionar los actores que conjugan en el socio-ecosistema (Torres, 2015).

## **2 MANEJO DE CUENCAS EN EL REINO UNIDO**

Históricamente la degradación de los recursos naturales y la contaminación de los ríos en el Reino Unido tuvo que ver con la tala de bosques, el asentamiento de ciudades e industrias, la instalación irregular de drenajes directos en las corrientes de agua, la revolución industrial y las guerras mundiales. Esto último junto con que fue una nación manufacturera en el siglo XVIII, lo llevaron a ser un lugar con los peores ríos del mundo en 1950. Tras la recesión en la década de 1960 causada por el traslado de la industria al extranjero, comenzaron a considerarse las cuestiones ambientales (Langford, 2016), así en 1974 surgieron las Autoridades Regionales del Agua en Bretaña quienes eran las encargadas de la calidad del agua, suministrarla y sanearlas en cada cuenca (10 en total). Pero ante las constantes necesidades de financiamiento en el sector, se dio la privatización del agua en 1989. Tras este proceso surgió la Autoridad Nacional de Ríos (ahora la Agencia Ambiental) encargada de vigilar el agua en las cuencas y la OFWAT (Oficina de Servicios del Agua) quien regula el régimen de precios de las empresas de agua y la calidad de sus servicios (Buller, 1996; Lobina & Hall, 2001).

El Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA por sus siglas en inglés) es una división en el gobierno del Reino Unido que es responsable por la protección del ambiente natural y el desarrollo sustentable, y es quien ha señalado a la Agencia Ambiental (que es un organismo público no departamental) como la responsable de liderar la regulación de ríos, suelos contaminados, calidad del agua, la conservación de peces y la ecología en Inglaterra. Lo mismo la Agencia Ambiental de Gales y la de Irlanda del Norte, quienes se enfocan en sus territorios sin dejar de ser aliadas y trabajar en conjunto con otras autoridades relevantes y organismos a nivel local (Starkey & Parkin, 2015; Civil Service, 2014)



En el año 2000 se estableció la Directiva Marco del Agua en Europa (a la que está sujeta el Reino Unido), la cual dictaminó que era necesario trabajar bajo un concepto de cuencas por lo que era obligatorio identificar los distritos de cuenca y las autoridades correspondientes, caracterizarlas y establecer una red de monitoreo y consulta pública, así para el 2008 se tenía que presentar un borrador de Plan de Manejo de Cuencas (basado en la caracterización y análisis del impacto humano sobre los recursos de la cuenca tanto superficiales como subterráneos) y concluirlo al siguiente año acompañado de un programa de medidas para garantizar que se cumple con cierto estatus (químico y biológico) que esta Directiva estipula en su legislación (relacionada por ejemplo con niveles permisibles de contaminantes que no afectan la salud de la cuenca y los habitantes), para hacerlas operativas en el 2012 con fecha límite para alcanzar los objetivos ambientales en el 2015 y así finalizar un primer ciclo de manejo e iniciar el segundo Plan de Manejo de Cuencas y un Plan de Manejo de Riesgos de Inundación, y concluir este segundo ciclo en el 2021, por lo que este proceso es cada seis años. Los aspectos clave que Europa ha planteado son la protección de la ecología acuática, de hábitats únicos y valiosos (como humedales y acuíferos), los recursos de agua potable y las playas (European Commission, 2019; Short, 2015).

Fue así que en el 2011, Reino Unido emprendió una serie de iniciativas piloto en 25 cuencas para identificar los elementos de buenas prácticas necesarios para apoyar la adopción de la gestión de cuencas (Short, 2015). El objetivo fue probar su viabilidad a largo plazo mediante la comprensión clara de los problemas en la cuenca, la participación de las comunidades locales en la toma de decisiones y el establecimiento de prioridades de acción. Además, de buscar oportunidades para coordinar e integrar los proyectos para abordar los problemas locales de una manera más rentable y evaluar diferentes formas de trabajo, aprendiendo lecciones iniciales sobre compromiso, colaboración y planificación de cuencas de primera mano. Estas pruebas piloto culminaron con su evaluación en el 2013 y ayudaron a que el DEFRA incorporara y adaptará el Enfoque Basado en Cuencas (CaBA, por sus siglas en inglés) como el instrumento de gestión de los recursos (sobretudo hídricos) en trabajo conjunto con otros actores (DEFRA, 2013).

El propósito no era encajonar en una sola línea todos los procesos y actividades necesarias para que funcione, sino más bien explorar e impulsar la toma de decisiones sobre todo locales siempre que sea posible, participando así el gobierno, empresas, propietarios de tierras y la comunidad en general para asegurar mejoras ambientales positivas para los ríos y las cuencas. Al mismo tiempo apoyar a la Agencia Ambiental en el desarrollo de un Plan de Manejo de Cuenca más apropiado, propiciando una plataforma para la participación, el debate y las decisiones, con beneficios mucho más amplios, incluyendo la disminución de las fuentes difusas de contaminación agrícola y urbana y alteraciones históricas de las corrientes de agua naturales (DEFRA, 2013).

El CaBA está basado en tres escalas de acción que son: a) la escala local o aquella extensión menor a una cuenca (subcuenca, cuerpo de agua, etc.) para identificar, planificar y actuar en una proporción menor de terreno y con objetivos muy específicos para apoyar el siguiente nivel; b) escala de cuenca, fundamental en las actividades de colaboración que deben llevarse a cabo y puede involucrar a aquellos que implementarán o facilitarán las acciones, basado en el establecimiento de una agenda clara y acuerdos a través de iniciativas de acciones comunitarias y reguladoras; y c) el Distrito de Cuenca en la que se determinan los problemas y prioridades para el manejo del agua y uso de suelo, propicia para la revisión de los términos de referencia y la actuación del marco de trabajo. En el caso de Inglaterra, hay diez distritos de cuenca y 80 cuencas (DEFRA, 2013).

Para asegurar una forma de trabajo efectiva, las Asociaciones de Cuenca y los Fideicomisos de Ríos son fundamentales sobre todo a una escala local. Estos deben asegurar acuerdos de financiación locales a largo plazo, ser autosustentables y trabajar en colaboración con una amplia gama de organizaciones locales, empresas y personas con el conocimiento, la credibilidad y la capacidad en el tema, e influenciar a otros tomadores de



decisiones estratégicas locales (Starkey & Parkin, 2015; DEFRA, 2013). Estas asociaciones son reconocidas por la Agencia Ambiental, quien además es clave en la provisión de datos, la aplicación de la legislación, apoyando la resolución de conflictos, ayudando a establecer prioridades, asegurando la integración en el trabajo y vinculando los siguientes ciclos de planificación de la gestión de cuencas (DEFRA, 2013)

Una organización independiente sin fines de lucro que se ha vuelto sumamente importante en el Reino Unido, establecida en 1994 es el River Restoration Center (RRC), cuyo propósito es promover el restablecimiento de procesos naturales, características, hábitats y biodiversidad de un sistema fluvial, apoyar a otros para lograr esto mediante la recopilación de conocimientos, información y evidencia para compartir las mejores prácticas en toda la comunidad de ríos y de gestión de cuencas. Su labor es básicamente la de asesorar (tanto a los organismos de gestión pública como a privados y sociedad civil), guiar, capacitar y establecer alianzas en los proyectos de restauración de ríos y con una visión de cuenca sobre todo a nivel local. Además forma parte del Centro Europeo para la Restauración de Ríos, que cuenta con una plataforma de casos de estudio llamada European RiverWiki. Dicha organización es hospedada por la Universidad de Cranfield a través de un acuerdo de servicio, lo que les permite mantener estrechos vínculos con la comunidad científica y de investigación y apoyar cursos relevantes, creando así enlaces de cooperación mutua (The River Restoration Centre, 2014).

Por otro lado, algunos de los productos del CaBA incluyen la creación del Fondo de Restauración de Cuencas (para restaurar las características naturales y reducir el impacto de la infraestructura y la contaminación difusa en las cuencas); la creación del Catchment Management Hub (un espacio para compartir conocimientos y establecer vínculos entre todo tipo de público); la creación del Centro de información de la Directiva Marco del Agua (DMA) que brinda información sobre la implementación de esta directiva para la gestión del agua y cuencas; el proyecto Demonstration Test Catchments que evidencia cómo se puede controlar la contaminación del sector agrícola para mejorar la calidad del agua en las cuencas; la creación de la herramienta de mapeo SCIMAP que permite a los usuarios identificar ubicaciones en el paisaje donde la contaminación difusa es un problema en las cuencas (desarrollada por las universidades de Durham y Lancaster con apoyo de varias instituciones y organizaciones); la herramienta llamada FARMSCOPER para evaluar las cargas de contaminantes agrícolas difusos y cuantificar los impactos de los métodos de mitigación agrícola en estos contaminantes, así como la biodiversidad, el uso del agua y el uso de energía; la creación de un sitio web del CaBA para conocer sus alcances y promover la colaboración de más actores, incluye un foro de discusión en línea y otros recursos. Y últimamente, Smarter Water Catchments impulsado por las empresas de agua y Universidad de Oxford cuyo propósito es mejorar la calidad del agua en 56 mil hectáreas de superficie de cuencas (WaterCo-Governance, 2019; Ecosystems Knowledge Network, 2019; RESTORE, 2017; The Foundation for Water Research, 2019).

Cabe mencionar que el financiamiento de proyectos proviene del gasto público, la recaudación, actividades comerciales, cobros y permisos, gobiernos locales, fondos de inversión en colaboración con una variedad de socios, incluidos los Fideicomisos de Ríos, empresas privadas y grupos ambientales (DEFRA, 2015). Otro actor que contribuye tanto al financiamiento como en el logro del CaBA son las empresas del agua que en Inglaterra consta de nueve grandes compañías privadas (Hall & Bayliss, 2017) estas promueven la participación de actores y proyectos de restauración tanto en zonas rurales como urbanas, ya que sus servicios dependen de la calidad del agua tanto la que proveen como la que tratan (deben cumplir con ciertos estándares). Por ello, este sector junto con los de energía, medio ambiente, riego, gestión de inundaciones y otros se han unido para tener una participación más integrada en los proyectos del CaBA sobre todo, a nivel local, incorporando aspectos de gestión de inundaciones, cambio climático y seguridad hídrica. (Hall & Bayliss, 2017; Wild Trout Trust (S/A)



Las acciones que se realizan en los proyectos consisten de manera generalizada en remover infraestructura innecesaria, instalar estructuras ambientalmente amigables que promueven la recuperación natural de ríos, restaurar canales y bancos ribereños, actividades de reforestación y aforestación, mejoramiento de prácticas agrícolas, eventos comunitarios, entre otros (DEFRA, 2015). Así mismo se utilizan herramientas para determinar las áreas que tienen mayor nivel de modificación o por el contrario mejor calidad de hábitat, como lo es el River Habitat Survey (RHS) y el Urban River Survey (URS), que son evaluaciones rápidas mediante formatos preestablecidos de información.

Algunos ejemplos bien conocidos a nivel internacional del trabajo logrado son el de Londres, a través de la recuperación del Río Támesis que de ser un río declarado biológicamente muerto en 1950 ahora ha recuperado ciertas condiciones que han favorecido la recuperación ecológica de especies y es un espacio público con gran reconocimiento mundial (Hernández, 2017). También la cuenca de Tweed que es compartida entre Inglaterra y Escocia, se encuentra bajo el programa del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (PHI), que demuestra cómo la ley, la política y la ciencia del agua se integran en la gestión de este recurso compartido, además de la participación de múltiples actores (Brachet, y otros, 2012).

### **3 MÉXICO EN LA GESTIÓN DE CUENCAS**

Gran parte de la historia del manejo de los recursos naturales en México parte en la década de los 40, cuando surgieron las Organizaciones de Cuenca caracterizadas por la centralización del agua a través de instancias regionales de la administración federal, cuyo principal interés era extender el área agrícola irrigada e incrementar la infraestructura hidráulica, tomando como base la experiencia y resultados del esquema TAV (Tennessee Authority Valley) de Estados Unidos (Castelán, 2001; Ávalos & Pineda, 2008; Rolland & Vega, 2010). De esta manera el sector hidráulico se convirtió en un proveedor de insumos que no consideraba las capacidades ambientales de cada región (Castelán, 2001). Dicho esquema de las Organizaciones de Cuenca fue abandonado en la década de 1970, para ser retomado en 1992 con la expedición de la Ley de Aguas Nacionales donde se establecieron los Consejos de Cuenca como instancias de coordinación y concertación en todos los niveles de gobierno para la gestión del agua (Castelán, 2001).

Las principales instituciones responsables de la gestión de agua han sido la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales como un órgano desconcentrado y la Comisión Nacional de Aguas (CONAGUA) establecidas en 1994 y 1989 respectivamente, catalogada esta última como una de las instituciones más grandes en el mundo de este género, por funciones y poder y que en algunos análisis es criticada por acaparar tantas funciones que sobreponen los intereses o bien, sesgan la gestión hídrica (Akhmouch, 2012). La CONAGUA ha dividido al país en 757 cuencas hidrológicas, organizadas a su vez en 37 regiones hidrológicas y éstas finalmente en 13 Regiones Hidrológicas Administrativas cuyos límites respetan la división política municipal, para facilitar la administración e integración de datos socioeconómicos (Mestre, 2012; Ávalos & Pineda, 2008; CONAGUA, 2018). Aunque otras instituciones y autores enfocados en el estudio de cuencas difieren de la cantidad y límites establecidos para determinar el número de cuencas (Helena Cótler en Ríos y otros, 2013; señala la existencia de 1,471 cuencas hidrográficas, de las cuales 807 tienen menos de 50 km<sup>2</sup> mientras que sólo 16 cuencas tienen extensiones mayores de 20,000 km<sup>2</sup>).

Así mismo, la gestión de cuencas se dirige a través de 26 Consejos de Cuenca y 215 órganos auxiliares (36 Comisiones de Cuenca que trabajan a nivel de subcuenca, 50 Comités de Cuenca cuyo ámbito es la microcuenca, 88 Comités Técnicos de Aguas Subterráneas cuyo labor es a nivel de acuífero y 41 Comités de Playas Limpias que promueven la gestión de agua en zonas costeras; CONAGUA, 2016). El objetivo de manera general es



involucrar a usuarios y sociedad civil en el proceso de gestión del recurso hídrico en un marco de corresponsabilidad con el Estado (Castelán, 2001). Algunas de estas figuras han sido promovidas por la sociedad civil y pueden o no coincidir con los límites de las cuencas o subcuencas (Ríos y otros, 2013)

Otro aspecto característico en el país y relevante en la detección de actores es el régimen de propiedad y los derechos del agua, ya que ello conlleva un nivel diferente de participación pues cerca del 45% del territorio es propiedad social (ejidos y comunal; López, Martínez & Ceccon, 2017) y los derechos de agua se distribuyen entre el sector agropecuario, agua potable, industria y servicios (Mestre, 2012). En este sentido, el financiamiento constituye otro rubro de relevancia, ya que, aproximadamente 1,1% del PIB es dedicado a los recursos hídricos y su gestión, además de que muchos de los proyectos son financiados con recursos fiscales o fondos públicos, créditos vía BANOBRAS con apoyo a su vez en créditos de diversas fuentes, inversiones privadas, siendo las operaciones a fondo perdido y la cooperación internacional estrategias poco recurridas (Mestre, 2012; López, Martínez & Ceccon, 2017).

Por otro lado, algunas de las acciones que se han encaminado y se han relacionado con el MIC son la emisión de vedas para restringir la extracción de agua superficial y subterránea; la activación de redes piezométricas en distintos acuíferos del país: la creación del Programa de control de malezas acuáticas; el Programa de Playas Limpias; los Programas Hídricos por Organismo de Cuenca elaborados en el 2006; la emisión anual de los Atlas de agua y Estadísticas del Agua que incluyen datos a nivel de cuenca; el Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Magdalena en el 2008; el Programa Nacional de Microcuencas a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en el año 2002, el cual generó varios proyectos con enfoque de MIC (Reynoso, 2010 ; Ávalos & Pineda, 2008; CONAGUA, 2018; Cótler, 2006; Mestre, 2012). También destacan algunos instrumentos que atraviesan la estructura Federación-Estado-Municipio como son los convenios de coordinación, el Pago por Servicios Ambientales, los Ordenamientos Ecológico Territoriales en su modalidad regional, las Normas Oficiales Mexicanas, las leyes en materia ambiental y de aguas, y en algunos estados los Fondos Ambientales que retoman a las cuencas como unidad de planeación (Burgos & Bocco, 2015).

También resaltan las labores, programas, e iniciativas por parte de Organizaciones No Gubernamentales y Asociaciones Civiles quienes retoman la visión de cuenca, algunos ejemplos incluyen la restauración de ríos y el replanteamiento en la manera en la que tienen lugar las actividades económicas sobretudo en el medio rural, la educación ambiental para el cuidado de los recursos naturales, la integración de actores de la sociedad en la ejecución de proyectos de cuenca. Algunos ejemplos son la Alianza Latinoamericana de Fondos del Agua que integra diversos aliados para la gestión del agua con un enfoque del MIC, la Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas, el Consejo Consultivo del Agua, entre muchos otros más.

Así mismo, hay muchos proyectos con enfoque del MIC que han sido realizados en diferentes escalas de la cuenca (algunos expuestos en Burgos & Bocco, 2015 y Ríos y otros, 2013), en donde se evidencia la integración de actores, conocimientos y estrategias de múltiples maneras, incluso en algunos, los propietarios y habitantes en la cuenca toman la responsabilidad de darle continuidad a los proyectos de manera independiente. Contrario a estos casos, existen otros cuyo objetivo ha sido la intervención artificial de los ríos (sobretudo urbanos) mediante obras de infraestructura hidráulica cuya finalidad ha sido el rápido desalojo de los escurrimientos durante las precipitaciones para controlar principalmente los riesgos de inundación (Hernández, 2017).

Finalmente, en términos de investigación y formación de recursos humanos en materia de cuencas y ecología de la restauración (en cuencas y acuíferos), se ha evidenciado una oferta académica incipiente en el tema y se



argumenta sobre el estado y necesidad de una política científica nacional de restauración más multidisciplinaria y no sólo enfocada en el aspecto ingenieril (López, Martínez & Ceccon, 2017; Burgos & Bocco, 2015). Lo mismo ocurre en la investigación y el financiamiento de proyectos de investigación. La existencia de conocimiento y personal contribuirá a una mayor integración y entendimiento en los proyectos y programas con un enfoque del MIC (hasta ahora mucho sigue con una visión de estructuras; Burgos & Bocco, 2015). La participación de la academia y la formación de capital humano son fundamentales en el desarrollo del MIC, porque de esta manera se incorporan más elementos que respalden la toma de decisiones desde diferentes perceptivas integradoras.

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

La cuenca hidrográfica aparece como una unidad idónea de planeación del espacio geográfico; sin embargo, como se ha visto en ambos países, existen fuertes dificultades en conciliar los límites naturales con los políticos para hacer operativo el MIC. Es un enfoque que según las experiencias analizadas, ofrece grandes beneficios y oportunidades para el desarrollo colectivo, pese a sus limitaciones y aplicaciones (por ejemplo, la limitada corresponsabilidad en la toma de decisiones, es decir la gobernanza), en el que es imperante la planificación y el impulso de procesos de desarrollo equitativo (Burgos & Bocco, 2015).

La aplicación del MIC resulta más fácil en ambos casos cuando se retoman escalas de trabajo más pequeñas que el de la cuenca, por ejemplo en el Reino Unido, éste se presenta a partir de los ríos como la pieza clave en la definición de cuencas y por el cual se pueden aplicar diversas estrategias de rehabilitación y manejar la vulnerabilidad de sus poblaciones a escala local, además de que la participación local se muestra más activa. En México, el ejercicio a través de microcuencas también ha resultado más viable dada la simplicidad de la administración, la coordinación y participación de los actores, la identificación de las problemáticas y su monitoreo, entre otros, siempre y cuando se responda a la problemática de la cuenca (Ávalos & Pineda, 2008).

Esto además brinda mayores posibilidades de integrar a los actores clave en la participación y de centrar las actividades necesarias para mejorar la calidad de la cuenca, pese a que la gestión de las cuencas en México desde las instituciones no se ha dado con un marco de planeación participativa activa de los usuarios y con un enfoque más integrador pues muchas veces los objetivos y acciones se centran en los aspectos socioeconómico, dadas las necesidades que todavía hay que cubrir y vista aún como el espacio para incorporar más infraestructura para la provisión de servicios (que a veces sólo benefician a un sector, o a una parte de la población) o donde el uso de suelo toma mayor relevancia sin mayor interacción con los otros componentes del territorio (Ávalos & Pineda, 2008; Cótler, 2006; Hernández, 2017).

El papel que toma la claridad de la información y la transparencia en los procesos del MIC, así como la ejecución de las fases de monitoreo y evaluación de los proyectos, se evidencia como fundamental para mejorar las prácticas en la gestión de cuencas. En este sentido, ésta es una fortaleza del Reino Unido propiciada por el desarrollo de plataformas que muestran la información de los proyectos desde su inicio hasta los resultados obtenidos, aunque aún es mejorable este aspecto. Para México, sin embargo, ha sido una debilidad ya que aún se carece de sistemas de transparencia y conocimiento colectivo, lo que muchas veces limita la articulación de esfuerzos y la asignación de recursos de manera eficaz y eficiente (Martínez, 2017), lo que a la vez propicia un ambiente de desconfianza y poca credibilidad, sobre todo entre la población involucrada con respecto a las instancias gubernamentales. Desarrollar sistemas eficientes de educación, capacitación y comunicación son esenciales para la ejecución de los proyectos de manera más integral.



En cuanto al monitoreo y la evaluación, estos siguen siendo una fase de difícil aplicación en ambos países, puesto que no se da su seguimiento sobre todo por parte de los organismos gubernamentales, excepto cuando la iniciativa es por parte de actores privados, cuyos beneficios económicos se ven comprometidos por los resultados (en el Reino Unido por parte de las empresas de agua principalmente). En México, las razones de esta situación se relacionan con los cambios administrativos y la falta de financiamiento que no dan la pauta para continuar con los proyectos (Zamora, Mazari & Almeida, 2017), aunque se han realizado ejercicios muy prácticos para la integración de indicadores útiles en el monitoreo de la recuperación de cuencas, como lo es el TECH que es un sistema de 70 indicadores, aplicado ya en 12 cuencas de Chiapas (en Burgos & Bocco, 2015).

Otra herramienta con la que ambos países cuentan en este aspecto es el monitoreo de puntos estratégicos de la cuenca para evaluar la calidad del agua mediante el uso de indicadores de calidad (DBO, DQO, Coliformes Fecales y Sólidos Suspendidos Totales) en el caso de México a través de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua gestionada por la CONAGUA, y en el caso del Reino Unido mediante el Catchment Data Explorer a cargo de la Agencia Ambiental. Aunque un aspecto que no ha sido tomado mucho en cuenta en México (hay algunos casos) a diferencia del Reino Unido donde es más amplio, es el uso de bioindicadores, a través del muestreo de macroinvertebrados acuáticos que indican aspectos relevantes de la calidad del agua, sobre todo por parte de Universidades y consultorías enfocadas en la rehabilitación.

Por otro lado, en el MIC se considera que la sinergia entre las escalas nacional y local, es fundamental para conciliar los conflictos entre los actores y buscar soluciones que den respuesta a estos (Ávalos & Pineda, 2008). Por lo que los Consejos de Cuenca actuales si bien son una figura muy importante en el MIC, siguen estando bajo un esquema centralista y por ende su participación está limitada, aún cuando son actores clave para la toma de decisiones. En contraparte, los Fideicomisos de Ríos formados en el Reino Unido, desde sus inicios han figurado como los espacios ideales para promover la participación local y son los responsables de que los proyectos puedan tener continuidad. Esto último, también tiene un fuerte respaldo por parte de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea y el papel que desempeña el River Restoration Center, los cuales dirigen los proyectos en una misma línea sin salirse de los objetivos. Dicho apoyo ha beneficiado enormemente al Reino Unido mediante la gestión de capacidades, estrategias, alineación y recursos.

En México no se ha creado alguna Alianza u Organismo con este tipo de funciones (planteado por algunos como un panel de expertos integrado por expertos nacionales, universidades y consultoras tanto nacionales como internacionales; Cótler, 2009) ni está bajo el amparo de un órgano institucional que lo provea de recursos, aunque sería positivo que hubiera mayor participación en la Red Latinoamericana de Organizaciones de Cuencas, considerando que los países participantes tienen mucha afinidad tanto por su desarrollo económico como sus características naturales e historia. En este sentido, también la participación de ONGs ha sido relevante, ya que permiten superar la falta de articulación entre programas y la discontinuidad por cambios de gobierno; a la vez que pueden gestionar fondos con organismos internacionales y ser enlace entre otros actores clave de las cuencas.

Son muchos los aspectos que pueden estar a discusión en un ejercicio de análisis entre las fortalezas y debilidades que presentan ambos países a pesar de ser diferentes y tener alcances distintos, puesto que en México aún hace falta superar varias metas socioeconómicas y donde la integración efectiva de las instituciones y la continuidad de las acciones y proyectos sigue siendo una disyuntiva. Sin embargo, el fortalecimiento de las debilidades y la superación de obstáculos tarde o temprano tendrán que enfrentarse dada la cada vez más limitada disponibilidad de recursos hídricos para el desarrollo de los seres vivos y de las actividades económicas.



Por su parte, el Reino Unido aunque tiene poco tiempo de haber incorporado el enfoque de cuencas, ha demostrado un gran avance y sus lecciones resultan interesantes pese a no ser el mejor modelo en la gestión de cuencas. Igualmente los casos de estudio que se han dado en México son dignos de ser analizados a mayor profundidad y porque no, de ser replicados, aunque sin duda se devela la ausencia de una sociedad participativa, objeto clave para la incorporación del MIC en las políticas públicas. Su efectiva aplicación no solo mejoraría la calidad ambiental de las cuencas, sino también promovería el desarrollo económico y la mejora en la calidad de vida de las poblaciones tanto urbanas como rurales.

## 5. AGRADECIMIENTOS

El documento está inspirado en los estudios de maestría que la autora realizó con financiamiento del CONACYT en la Universidad de Birmingham en el Reino Unido en el programa de Ambientes Ribereños y su Manejo.

## 6. LITERATURA CITADA

- Akhmouch, A. (2012), "Water Governance in Latin America and the Caribbean: A Multi-Level Approach", OECD Regional Development Working Papers, 2012/04, OECD. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/5k9crzqk3ttj-en>
- Avalos, H. & Pineda, R. (2008). Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos?. Boletín del Archivo Histórico del Agua, N°. 39, 2008, págs. 16-21.
- Brachet, C., Valensuela, D., Wouters, P., Nikiforova, N., Bordes, J., Aureli, A., & Amelin, E. (2012). The handbook for integrated water resources management in transboundary basins of rivers, lakes and aquifers. INBO-GWP, Paris.
- Buller, H. (1996). Towards sustainable water management: catchment planning in France and Britain. Land Use Policy, 13(4), 289-302.
- Burgos, A., Bocco, G., & Sosa, J. (2015). Dimensiones sociales en el manejo de cuencas. CIGA-UNAM, DF, 236.
- Castelán, E. (2001). Los consejos de cuenca en México. Informe de investigación, Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua. México, DF.
- Civil Service (2014). Introduction to Sponsorship: An Induction Pack for New Sponsors of Arm's-Length Bodies
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2016) Consejos de Cuenca. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2019; disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/consejos-de-cuenca>
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2018) Atlas del Agua en México. Disponible en: <https://agua.org.mx/biblioteca/atlas-de-agua-en-mexico/>
- Cótlar, H. (2006). (Comp.) El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.
- DEFRA, Department for Environment, Food & Rural Affairs, (2015) Catchment Restoration Fund: Environment Agency summary report 2014 to 2015. ISBN 978147412290
- DEFRA, Department for Environment, Food and Rural Affairs. (2013). Catchment Based Approach: Improving the Quality of Our Water Environment—A Policy Framework to Encourage the Wider Adoption of an Integrated catchment Based Approach to improving the Quality of Our Water Environment (May, 2013).
- Ecosystems Knowledge Network (2019). 'Managing river catchments' Fecha de consulta: 8 de Agosto de 2019; disponible en: <https://ecosystemsknowledge.net/resources/tools-guidelines/catchment-management>
- European Commission (2019). Introduction to the EU Water Framework Directive Fecha de consulta: 20 de Julio de 2019; disponible en: [https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/info/intro\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/info/intro_en.htm)
- Hall, D., & Bayliss, K. (2017). Bringing water into public ownership: costs and benefits.
- Hernández, G. (2017). Estrategias de recuperación de los ríos fundacionales de las ciudades de Jalostotitlán y San Miguel el Alto. Trabajo de obtención de grado, Maestría en Ciudad y Espacio Público Sustentable. Tlaquepaque, Jalisco: ITESO. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11117/4807>
- Langford, T. (2016) 1. Pollution and recovery. Lecture Slides River Restoration. Centre for Environmental Science, (CES), International Centre for Ecohydraulic Research (ICER).
- Lobina, E., & Hall, D. (2001). UK—water privatisation—a briefing. London: PSIRU report.



López, F.; Martínez, C. & Ceccon, E. (2017). Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88. 10.1016/j.rmb.2017.10.001.

Martínez, R. (ed.) (2017). *Institucionalidad Social en América Latina y el Caribe*, ECLAC Books, No. 146, UN, New York. Disponible en: <https://doi.org/10.18356/8db11bf6-es>.

Mestre, E. (2012). El reto hídrico de México. Una carta de navegación. Documento presentado en el VI Foro Mundial del Agua en Marsella. Lorena Torres Bernardino.

RESTORE (2017) Restoring Europe's Rivers. Fecha de consulta: 15 de Julio de 2019; disponible en: [https://restorerivers.eu/wiki/index.php?title=Main\\_Page](https://restorerivers.eu/wiki/index.php?title=Main_Page)

Reynoso, A. (2010). Rescate de ríos urbanos: propuestas conceptuales y metodológicas para la restauración y rehabilitación de ríos. Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Humanidades, Programa Universitario de Estudios Sobre la Ciudad.

Ríos, E., Avalos, H., González, I.; Pineda, R. & Alcántar, A. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión.

Rolland, L., & Vega, Y. (2010). La gestión del agua en México. *Polis*, 6(2), 155-188. Fecha de consulta: 18 de Julio de 2019; disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-23332010000200006&lng=es&tln=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-23332010000200006&lng=es&tln=es).

Short, C. (2015). Micro-level crafting of institutions within integrated catchment management: early lessons of adaptive governance from a catchment-based approach case study in England. *Environmental Science & Policy*, 53, 130-138.

Starkey, E., & Parkin, G. (2015). Community Involvement in UK Catchment Management. Review of Current Knowledge.

The Foundation for Water Research (2019) The Water Framework Directive Information Centre (WFDIC). Fecha de consulta: 24 de Agosto de 2019; disponible en: [http://www.euwfd.com/html/wfd\\_ic.html](http://www.euwfd.com/html/wfd_ic.html)

The River Restoration Centre (2014) Overview. Fecha de consulta: 28 de Agosto de 2019; disponible en: <https://www.therrc.co.uk/about-us>.

Torres, A. (2015). El agua y su gestión en México. Fernando Pérez Correa (coord.), *Gestión pública y social del agua en México*, México, UNAM, 2014, 154 pp.. *Estudios Políticos*, 9(35) ISSN: 0185-1616. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4264/426439556008>

WaterCo-Governance (2019) Catchment Based Approach. Fecha de consulta: 22 de Julio de 2019; disponible en: <https://catchmentbasedapproach.org/>

Wild Trout Trust (S/A). THE UPLAND RIVERS HABITAT MANUAL.

Zamora, I., Mazari, M., & Almeida L. (2017). Sistema de indicadores para la recuperación de ríos urbanos. El caso del río Magdalena, Ciudad de México. *Acta universitaria*, 27(6), 53-65.

## **ID-211: IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES CLAVE PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO METZTITLÁN, MÉXICO.**

Rosi Nereida Vázquez Severino<sup>a</sup>, Luis Ricardo Manzano Solís<sup>a</sup>, Miguel Angel Albores Gomez<sup>b</sup>, José Emilio Baró Suárez<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca. rossev\_@hotmail.com, lrmanzanos@uaemex.mx, barosuarez@hotmail.com

<sup>b</sup> Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca. magomeza@uaemex.mx

### **RESUMEN**

Ante los problemas actuales del agua, tales como su mala calidad y escasez, surge la necesidad de replantear su forma de manejo, es preciso que se aborde la gestión del agua desde un punto de vista sostenible. Ante esto, la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) es un camino a seguir ya que aborda la perspectiva sistémica del agua.

El presente trabajo propone realizar un análisis sistémico, el objetivo es encontrar variables clave para la gestión del agua en la cuenca. Con el propósito de identificar las variables generales del sistema se empleó una entrevista semiestructurada a actores clave. Posteriormente, para encontrar las variables clave se utilizó una Matriz de Impactos Cruzados, Multiplicación Aplicada a una Clasificación (MICMAC), para lo cual se consultó a expertos con el fin de evitar algún sesgo, de lo cual se obtuvo una relación de variables basado en su influencia y dependencia, así como al reconocimiento de las variables clave del sistema de gestión del agua de la cuenca.

Se identificaron 36 variables generales del sistema de gestión en la cuenca del río Metztitlán, de las cuales 12 fueron clave: 4 de entrada, 3 de enlace y 5 de salida. El resto (23) fueron del grupo del pelotón que son variables que no pueden categorizarse y una fue excluida por su baja relevancia.

En conclusión, el análisis estructural de sistemas representa una herramienta idónea para planeación del agua, resulta ser una metodología robusta y fácil de aplicar. En complemento con la MIT permite revelar variables directas e indirectas, y con el uso de GVF se logró hacer una categorización de las variables en un plano de influencia y dependencia.

**Palabras clave:** Metztitlán, Gestión Integrada de Recursos Hídricos, MICMAC, Análisis estructural de sistemas.

### **1 INTRODUCCIÓN**

Ante la crisis del agua resulta imperativo que los temas hídricos no sean tratados de forma aislada, por lo que surge la necesidad de un enfoque sistémico que replante la base del problema centrado en la escasez de las fuentes de agua, pero más que nada en la gestión de su demanda. La Organización de las Naciones Unidas reconoce la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) como un proceso que promueve el desarrollo y la gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos relacionados, a fin de maximizar el bienestar económico y social, desde un punto de vista sostenible (ONU, 2014).

En México la gestión del agua se ha orientado históricamente a satisfacer la demanda del recurso por parte de la población y subsanada mediante la creación de infraestructura, dejando a un lado la perspectiva integrada en la planeación y administración del recurso a largo plazo. Lo cual se resume en un aumento en la presión sobre los recursos hídricos, ante esto, surge la necesidad de desarrollar nuevas formas de gestión (Perevochtchikova, 2010). El reto que se presenta es actuar con una visión de largo plazo para evitar que las circunstancias inmediatas o los tiempos que marcan los ciclos de la administración pública. Agregar

Lo que afronta la gestión integrada del agua en cuencas es mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales a partir de las necesidades y aspiraciones de las sociedades locales. Esto facilita que la sociedad se apropie mejor de



la gestión de la cuenca y que sus repercusiones ambientales sean minimizadas (FAO, 2007). Una manera de fomentar la participación y organización de la población en el uso de recursos y en la toma de decisiones, es mediante herramientas, como la aplicación de entrevistas a informantes clave (Lujan et al., 2018 y Estuardo et al., 2015), y la identificación de componentes influyentes en el proceso de gestión ambiental por medio del análisis estructural de sistemas (Manzano-Solís et al., 2019; Estuardo et al., 2015, Ambrosio et al., 2011).

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio fue la cuenca del río Metztlán (figura 1), ubicada en el centro este del estado de Hidalgo (México), entre las coordenadas 19° 53' 41" y 20° 45' 05" latitud norte, y 98° 55' 04" y 98° 08' 39" longitud oeste. Su superficie es de 2,880 km<sup>2</sup> y abarca parte de los estados de Hidalgo (91%), Puebla (2.5%) y Veracruz (6.5%). Consta de 25 municipios que se encuentran total o parcialmente dentro de la cuenca de los estados ya mencionados. Perteneció a la Región Hidrológica Río Pánuco (RH26) sobre la vertiente del Golfo de México.

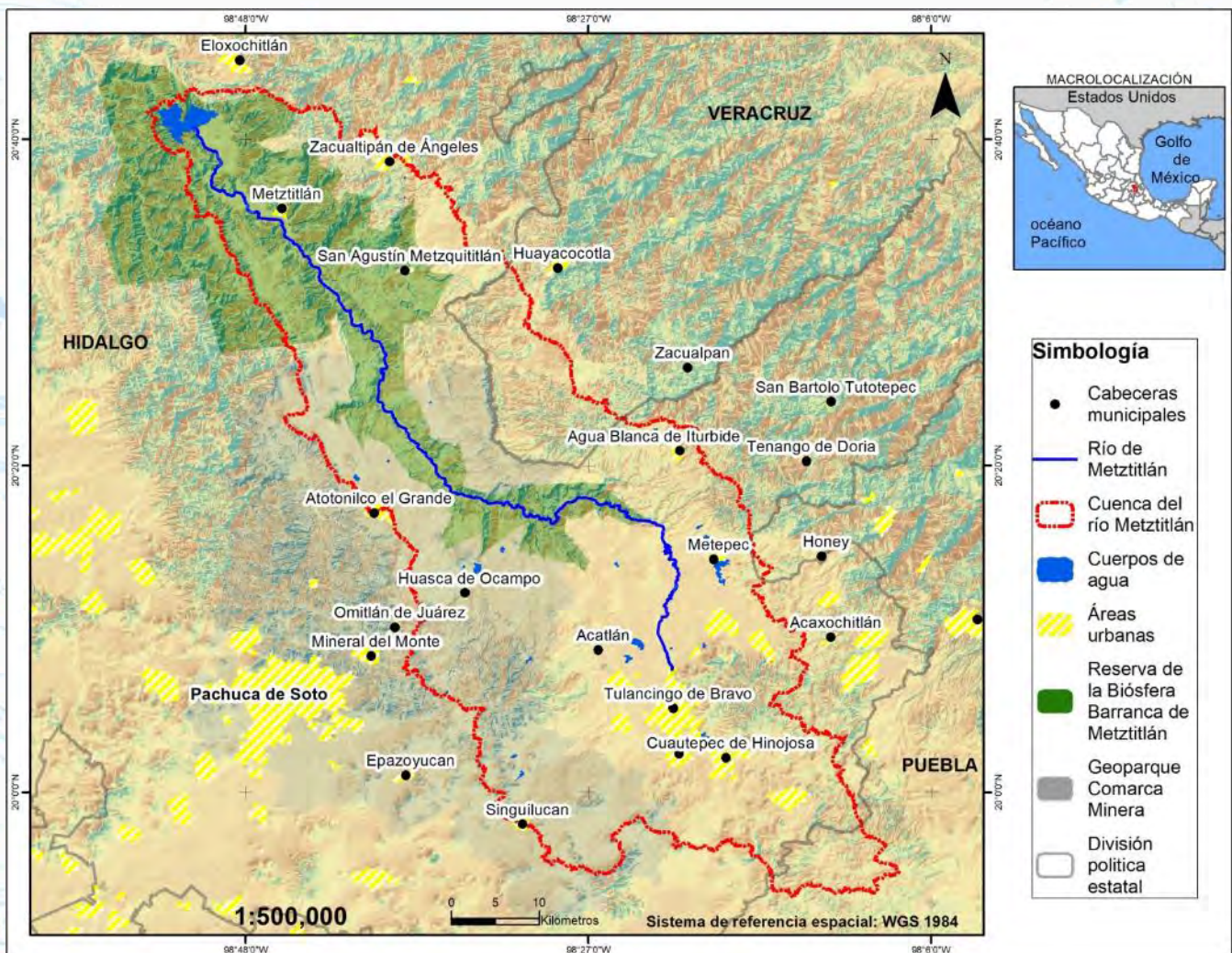


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Metztlán.

En cuanto a las características del medio biofísico en la cuenca, en general presenta una topografía accidentada, con pendientes pronunciadas y escarpadas; fisiográficamente, se ubica en la provincia de la Sierra Madre



Oriental, y en la provincia del Eje Volcánico Transversal. Tiene un sistema de topoformas bastante complejo, pasando de sierras, mesetas a valles y llanuras. Los suelos predominantes son los feozem, luvisoles y vertisoles, los dos primeros son ricos en materia orgánica y tienden a ser fértiles, generalmente se encuentran en lugares templados, en cambio los vertisoles son suelos de climas semiáridos y se caracterizan por ser arcillosos (INEGI, 2001). El clima que predomina en la zona es el templado, seco semiárido y semicálido, la precipitación media anual va de los 400 mm a 1,100 mm. En época de lluvias, en verano, los vientos alisios descargan su humedad sobre la zona y las partes elevadas donde se encuentran bosques de pino y encino (entre otros tipos de vegetación templado-fría). En la zona además se reconocen diferentes tipos de matorral como xerófilo y crasicaule (INEGI, 2014).

Respecto a sus recursos hídricos, se tiene que el volumen total concesionado para el aprovechamiento de las aguas nacionales superficiales y subterráneas es de aproximadamente 159 000 millones de m<sup>3</sup> por año, del cual el 80 % es utilizada para el sector agrícola (REDPA, 2018), de donde destacan la presencia de dos distritos de riego, el 008 Metztitlán y el 028 Tulancingo. La infraestructura hidráulica principal se compone de la presa de almacenamiento la Esperanza, que se localiza al sureste del Valle de Tulancingo, y cinco presas derivadoras a lo largo del río Metztitlán.

Para cumplir con el objetivo general de la investigación, se empleó el Análisis estructural de sistemas, mismo que según Godet (2000), se compone de tres fases: listado de variables, descripción de relaciones entre las variables e identificación de las variables clave. A continuación se detalla cada una de ellas.

- a) Listado de variables: Con la finalidad de identificar las variables generales del sistema se aplicaron entrevistas semiestructuradas a actores clave de la cuenca. Este instrumento permite un dialogo con el entrevistado al tiempo que da pautas generales para mantenerse en el tema deseado, pero dando libertad al entrevistador para ahondar en aspectos específicos que considere pueden ser de utilidad en la investigación.

Es importante mencionar que previo a la entrevista, se realizó una caracterización de la cuenca para obtener una primera propuesta de variables misma que se buscó validar y complementar con la entrevista semiestructurada. Como actores clave se consideró a directores de organismos operadores de agua potable y saneamiento, cultura del agua, responsables de áreas naturales protegidas y a jefes de distritos de riego. Los temas considerados en la entrevista se centraron en el uso del agua para los sectores agropecuario, ambiental y recreativo, doméstico e industrial. Las respuestas a esta entrevista constituyeron un listado de las variables generales del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Metztitlán.

- b) Descripción de relaciones entre las variables: Una vez definidas las variables, se realizó una conceptualización de cada una de ellas en el contexto propio de la cuenca del río Metztitlán. En este apartado se ofrece la definición de la variable y las características y condiciones que tiene su presencia en la cuenca bajo estudio. Para la evaluación de la relación entre variables se consultó a 4 expertos en GIRH y en temas relevantes para la gestión del agua en la cuenca y se utilizó el programa computacional



MICMAC (Matriz de Impactos Cruzados Multiplicación Aplicada a una Clasificación). Los expertos realizaron la evaluación por pares de variables bajo el planteamiento ¿existe una relación de influencia directa entre la variable a y la variable b? en caso afirmativo se registra el valor uno, y en caso negativo cero. El resultado final es una matriz de influencia directa (MID).

Identificación de las variables clave: A partir de la MID se identifican las relaciones indirectas. Para esto se eleva la MID a una potencia recomendada por el programa MICMAC, resultando una matriz de influencias indirectas (MII). Finalmente, y de acuerdo con la propuesta Manzano et al (2019), se integran la MID y la MII en una matriz de influencia total (MIT), para esto es necesario elevar la MII a una potencia y el resultado de cada celda se estandariza dividiendo cada celda entre el máximo valor, a la cual llamaremos Matriz de Influencia Indirecta Estandarizada (MIIE), finalmente se integra sumando la MID y la MIIE.

- c) Los resultados en términos de influencia y de dependencia de cada variable se obtienen a partir de la MIT al representarlos en un plano cartesiano (el eje de abscisas corresponde a la dependencia y el eje de ordenadas a la influencia). Este plano se subdivide cinco secciones: las variables de entrada son las motrices y poco dependientes (estas son las que condicionan el resto del sistema), las variables de enlace (son muy influyentes y dependientes, es decir, otras variables influyen sobre ellas y a su vez estas influyen sobre otras tantas), las variables resultado (son poco influyentes y muy dependientes), las variables excluidas (constituyen a factores autónomos y pueden ser excluidas, aunque depende del objetivo) y, finalmente, las variables pelotón (cuya característica es que no se pueden definir claramente como perteneciente a alguno de los grupos anteriores).

Para identificar las variables pelotón se utilizó el método Goodness of Variance Fit (GVF) o mejor conocido como método de optimización de Jenks, diseñado para encontrar el mejor arreglo de valores en diferentes clases, es un proceso iterativo, cuyo propósito es encontrar conjuntos de datos que representan una clase y son muy parecidos entre sí en el interior de la clase y son más diferenciados entre las otras clases (ESRI, 2019) . Por lo que se consideró el método idóneo para resaltar la posición de las variables pelotón en el plano de Influencia-Dependencia en la MIT.

### 3 RESULTADOS

En el cuadro 1 se muestran las 36 variables del sistema de gestión del agua en la cuenca de río Metztlán, validadas por medio de la entrevista, y que fueron el insumo para la evaluación del MICMAC.

Cuadro 1. Listado de variables identificadas en la cuenca del río Metztlán.

No.	Nombre de la Variable	No.	Nombre de la Variable
1	Acceso al servicio de agua para el sector agropecuario	19	Degradación del suelo
2	Conflictos entre usuarios del agua	20	Acceso al servicio de agua en las viviendas
3	Disponibilidad de agua durante la época de estiaje	21	Abastecimiento del agua
4	Eficiencia en el sistema de riego	22	Acceso al servicio de drenaje

5	Sistema de bombeo de agua de pozos	23	Gestión del servicio de agua
6	Abandono de la agricultura	24	Tandas del agua
7	Volumen de extracción en la pesca	25	Sistemas de medición del servicio de agua
8	Producción agrícola	26	Fugas de agua en la red de agua
9	Cultura ambiental	27	Sistema de cobro por el uso del servicio de agua
10	Disponibilidad de agua a la fauna y flora silvestre	28	Calidad del agua
11	Contaminación del agua por agroquímicos	29	Enfermedades de origen hídrico
12	Contaminación del agua por residuos sólidos	30	Disposición adecuada de aguas residuales
13	Contaminación del agua por la industria textil	31	Capacidad de almacenamiento
14	Deforestación	32	Letrinas de arrastre
15	Protección de áreas naturales	33	Potabilización del agua
16	Turismo	34	Participación en el tratamiento de aguas residuales
17	Reforestación	35	Medidas en la regulación del agua
18	Eutrofización de la laguna	36	Inversión en las plantas de tratamiento de agua

Como parte de los resultados correspondientes a la relación de influencia-dependencia por los expertos y su proceso hasta llegar a la MIT (figura 2), se obtuvo la influencia y dependencia total de cada variable. En el primer caso, la suma de forma horizontal indica la influencia de cada variable sobre las demás; mientras que para el segundo caso, la dependencia resulta de la sumatoria de manera vertical entre las variables.

Variable	1: ACC_SA_AGR	2: CONF_USUA	3: DISP_ESTIA	4: EFI_SIST_R	5: SIST_BOMB	...	36: INV_PLA_TR	Influencia
1: ACC_SA_AGR	0.175	1.307	0.075	0.126	0.125		8	12.271
2: CONF_USUA	1.243	0.427	0.103	1.175	1.175		9	16.931
3: DISP_ESTIA	1.102	1.180	0.044	1.073	0.073		1	12.498
4: EFI_SIST_R			0.038	0.064	1.064		1	8.177
5: SIST_BOMB			0.033	1.055	0.055		1	7.886
...			0.014	0.022	0.021		5	4.770
36: INV_PLA_TR	1.31	1.561	0.136	1.228	0.227		8	15.000
Dependencia	20.665	38.743	10.866	13.778	13.768	20.890	14.243	Total

Figura 2. Relación entre variables en la MIT de la cuenca del río Metztlán.

Cabe mencionar que el porcentaje de llenado de la matriz fue de 27%. Una tasa aceptable se sitúa alrededor del 15 % y 35% según, Godet (1993, p. 80), mientras que tasas superiores revelan un cumplimiento excesivo de relaciones que se consideraron incorrectamente como directas (y menos pertinente será el método MICMAC en la consideración de las relaciones indirectas).

Como resultado de aplicar el GVF, para la suma de influencia total así como la suma de dependencia total y agrupada en tres clases, quedo de la siguiente manera: la clase para la influencia baja agrupó a los valores entre 0.21 y 12.27; la de las variables del pelotón considera valores de 12.27 a 23.54; y la clase para los datos de mayor influencia se agrupó en valores mayores a 23.54 hasta 48.90. En cuanto a las clases de dependencia total, la clase de baja dependencia quedó delimitada entre 4.43 y 16.21; la clase para las variables pelotón incluyó valores de 16.21 hasta 25.26; y finalmente, la clase de las variables más dependientes que van de 25.26 hasta valores de 42.74 (véase figura 3)

Como producto final, en la MIT (Figura 3) se puede observar el comportamiento de las variables, contenidas en el plano de influencia-dependencia, por lo que es posible categorizarlas en 5 secciones: las ubicadas en el cuadrante superior izquierdo se denominaron variables de entrada (34, 30, 15 y 9) son las variables motrices, cualquier



cambio en ellas repercutirá en el sistema, al ser muy influyentes y poco dependientes son variables clave al momento de realizar acciones por lo que se requiere analizar sus cambios; las del cuadrante superior derecho se consideran variables de enlace (36, 35 y 23) son variables muy influyentes y dependientes por lo que tienden a ser muy inestables, cualquier acción sobre ellas repercutirá sobre otras variables y al mismo tiempo algún efecto sobre ellas, modificando así la dinámica global del sistema. Las variables ubicadas en el cuadrante inferior derecho se denominaron de salida (27, 8, 6, 2 y 1), estas son muy dependientes y poco influyentes. Sus cambios se explican por los impactos provenientes de otras variables, en especial las de entrada y enlace; la variable ubicada en el cuadrante inferior izquierdo (32) fue una variable excluida, al ser poco relevante. Por último, se tiene a aquellas variables que expresan una influencia o dependencia medios, por lo que es complicado catalogarlos claramente como componentes de alguna de las categorías anteriores y se les conoce como del pelotón (todas las restantes).



Figura 3. Plano de Influencia-Dependencia de la MIT en la gestión del agua de la cuenca del río Metztitlán, México.

Y finalmente, es posible identificar las variables clave (área azul de la figura 3 y cuadro 2), cuya característica es que presentan una alta influencia y/o dependencia o ambas. Ayudan a analizar la dinámica del sistema y a reducir la complejidad del sistema; parte de que las variables consideradas importantes sean explicativas o explicadas con medidas y efectos diferentes en cada caso.

Las variables clave permiten inferir hacia o sobre que se debe atender en una planificación de recursos hídricos, ya sea a corto o largo plazo. Para el caso de la cuenca, las variables de entrada son muy influyentes en el sistema y las acciones que se realicen van a atacar a otras más, como el caso de la cultura ambiental (conciencia de la relación existente entre los seres vivos y su entorno, que propicie la adopción de valores sobre el cuidado del medio ambiente) si se implementan acciones va a repercutir en cascada sobre otras, lo mismo pasaría con la protección de áreas naturales. La cuestión de la gestión del servicio de agua es muy influyente y a la vez dependiente, por lo que las actividades, políticas e instrumentos que se lleven a cabo mediante los municipios y sus habitantes, por ejemplo, la regulación del aprovechamiento sustentable del agua va a repercutir sobre el sistema de cobro del

servicio y a la vez implicar sobre algún tipo de conflicto entre los usuarios del agua en la cuenca. Estas últimas variables (de salida) pueden ser indicadoras del estado actual de la cuenca y sirven para crear escenarios del funcionamiento de la misma.

En síntesis, lo identificado por el grupo de expertos va encaminado a variables que tratan una perspectiva sustentable del agua, y a tratar componentes que pueden ser elementales para gestión del agua en la cuenca como las medidas de regulación del agua, al mismo tiempo rescata variables como la producción agrícola siendo esta una de las principales actividades económicas en la cuenca.

Cuadro 2. Variables clave en el sistema de gestión del agua en la cuenca del río Metztlán.

Categoría	No.	Nombre de la Variable
Entrada	9	Cultura ambiental
	15	Protección de áreas naturales
	30	Disposición adecuada de aguas residuales
	34	Participación en el tratamiento de aguas residuales
Enlace	23	Gestión del servicio de agua
	35	Medidas en la regulación del agua
	36	Inversión en las plantas de tratamiento de agua
Salida	1	Acceso al servicio de agua para el sector agropecuario
	2	Conflictos entre usuarios del agua
	6	Abandono de la agricultura
	8	Producción agrícola
	27	Sistema de cobro por el uso del servicio de agua

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis estructural de sistemas permitió identificar las variables clave del funcionamiento del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Metztlán. Cubrió el objetivo de encontrar las relaciones entre los elementos y así revelar las variables fundamentales en la dinámica del sistema. Ante esto, una parte primordial para el desarrollo del proyecto fue la complementación de las variables generales propuestas en gabinete y validadas por la parte entrevistada, ya que hace partícipes a los tomadores de decisiones, en una estructuración de la reflexión colectiva por lo que es una herramienta idónea para realizar planificación siendo esto una nueva visión que sugiere la GIRH. Además de que ofrece la oportunidad de caracterizar mejor los retos hídricos que afectan a la cuenca.

Con la evaluación por parte de expertos permite tener diversidad de posturas, sin embargo, éstas se consensan en una matriz final y con esto evitamos algún tipo de sesgo. También es necesario mencionar que es un proceso largo y tardado, que requiere desde un principio tener la disposición de todos los expertos para evitar inconsistencias en la matriz a evaluar.

Con la implementación de la MIT se logró destacar variables directas e indirectas no eran visibles de una clasificación directa por medio de MICMAC tradicional. Por lo que esta matriz permitió localizar mejor las



relaciones entre variables. Y finalmente, con GVF se logró categorizar a las variables en el plano de influencia-dependencia del sistema de gestión del agua en la cuenca.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los investigadores de la Facultad de Geografía y del Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua de la Universidad Autónoma del Estado de México, así como a las autoridades municipales, por su colaboración en etapas clave del proyecto de investigación.

## 6. LITERATURA CITADA

- Ambrosio-Albalá, M., Martín Lozano, J. M. y Pérez Hernández, P. P. (2011). Aplicación del análisis estructural de prospectiva al diseño de estrategias de desarrollo rural: el caso de la comarca de Jerez. *Estudios de Economía Aplicada*. 29(1), 247-277. Fecha de consulta: 22 de Septiembre de 2019. ISSN: 1133-3197. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30120835009>
- ESRI. (2019)- What is the Jenks optimization method? Soporte técnico de Environmental Systems Research Institute. Fecha de consulta: 1 de agosto del 2019. Recuperado de: <https://support.esri.com/en/technical-article/000006743>
- Estuardo-Cevallos, G., Roldan-Ruenes, A., y Gómez-Luna, L. M, S. (2015). Prospective identification of components in the process of environmental management at la Concordia canton, Ecuador. *Centro de información y gestión tecnológica de Santiago de Cuba*. (3). 16-33.
- FAO. (2007). La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2019. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/010/a0644s/a0644s00.htm>
- Godet, M. (2000). La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. 4ª ed. Cuaderno núm. 5. Gerpa-Electricité de France. Francia. 108 pp.
- Godet, M. (1993). De la anticipación a la acción: manual de prospectiva y estrategia. España: MARCOMBO.
- INEGI. (2014). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, serie VI Fecha de consulta: 6 de junio del 2019. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>.
- INEGI. (2001). Conjunto de Datos Vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1, 000,000. Serie I. Fecha de consulta: 6 de junio del 2019. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/fisiografia/>.
- Manzano-Solís, L., Díaz-Delgado, C., Gómez-Albores, M., Mastachi-Loza, C. y Soares, D. (2019). Use of structural systems analysis for the integrated water resources management in the Nenetzingo river watershed, Mexico. *Land Use Policy*. 87. 10.1016/j.landusepol.2019.104029.
- Lujan G, R., Michel P, J.G., Vizcaíno R, L. A., Mayoral R, P. A. y Caro B, L. 2018. Gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Santiago: una perspectiva. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. 9. (21). 479-490.
- Perevochtchikova, M. (2010). La problemática del agua: revisión de la situación actual desde una perspectiva ambiental. En Lezama, J. L., y Graizbord, B. (Ed.) *En Los grandes problemas de México: Medio ambiente*. México: El Colegio de México AC.
- ONU. (2014). Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Naciones unidas. Fecha de consulta: 6 de junio del 2019. Recuperado de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>.
- REDPA. (2019). Registro Público de Derechos de Agua. Fecha de consulta: 1 de junio del 2019. Recuperado de: <https://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>.

## **ID-225: MIRADAS CONCEPTUALES Y TÉCNICAS EN TORNO AL ENFOQUE DE CUENCA SOCIAL COMO MODELO DE GESTIÓN DEL TERRITORIO.**

Julio César Mendoza Marín\_Autor 1<sup>a</sup>, Danú Alberto Fabre Platas\_Autor 2<sup>b</sup>, Tajín Fuentes Pangtay\_Autor 3<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Afiliación1, MGAS-Universidad Veracruzana, jmendozam\_@hotmail.com

<sup>b</sup> Afiliación2, IIESES-Universidad Veracruzana, dfabre@uv.mx

<sup>c</sup> Afiliación3, SENDAS A.C., murcilag@gmail.com

### **RESUMEN**

Los problemas socioambientales que se suscitan a escala de cuenca tienden a ser multicromáticos en cuanto a sus dimensiones; es decir, pueden ser económicos, sociales, ambientales, políticos y culturales. En consecuencia, se complica vislumbrar la existencia de modelos de gestión que sean capaces de abordar de forma integral los dilemas latentes de esta geo-división.

Contextualizando lo referido, en México es posible visibilizar tres modelos cuyas singulares atienden a problemáticas y momentos históricos específicos. Por ejemplo, durante el siglo XX, la gestión realizada –con tintes de ingeniería hidráulica– se caracterizó por concebir a la cuenca como simple proveedora de agua; iniciativa que en cuanto a política administrativa, denotó una fuerte centralización gubernamental en la planeación y toma de decisiones. Posteriormente, en un plano internacional y después en el nacional, apareció la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH); ejercicio político que desde su origen ha presentado vicisitudes en su concepción y aplicación, motivo por el cual ha sido sujeta a críticas.

Consecutivamente, el enfoque de cuenca social como tercer modelo presenta contrapuntos conceptuales y prácticos con los dos modelos que anteceden, ya que: favorece la gobernanza en lugar de la gobernabilidad; concibe el espacio no como un territorio normado, sino como uno vivido que alberga territorialidades; construye desde los diferentes actores sociales que inciden sobre sus recursos naturales un proyecto de cogestión, es decir, se basa en procesos participativos y; abandonando las contradicciones del desarrollo sustentable, se encamina hacia un buen vivir.

Al margen de lo expuesto, en este trabajo se presenta el enfoque de cuenca social a partir de su concepción teórico-práctica; referente que desde una escala local posibilita abordar los horizontes culturales y biofísicos emanados de los procesos de territorialización y territorialidad como una construcción histórica del espacio. Del mismo modo, hay que comentar que parte de este escrito se realizó gracias a la Coalición de Organizaciones de la Bio-región Jamapa-Antigua, pues al margen de su quehacer diseñaron el “*Esquema General de Componentes y Aspectos de la Metodología de Cuenca Social*” como herramienta de colaboración conjunta.

**Palabras claves:** cogestión y enfoque de cuenca social

### **INTRODUCCIÓN**

Los problemas socioambientales que se pueden suscitar o suscitan a escala de cuenca tienden a ser multicromáticos en cuanto a sus dimensiones; es decir, pueden ser económicos, sociales, ambientales, políticos, culturales y demás ámbitos de la realidad que se quieran observar. En consecuencia, se complica vislumbrar la existencia de modelos de gestión que sean capaces de abordar de forma integral los dilemas latentes de esta geo-división.

En esta línea de ideas, Zavaleta (2016), señala que los programas hidrológicos de manejo tradicional con los que se han venido trabajando las cuencas tienden a ser complicados en su elaboración y ejecución, por lo que caen en desuso. Al respecto de este tema, Paré, Fuentes, Vidriales y Coll (2012, p. 29) comentan que, bajo esta perspectiva, la cuenca más que pensarse como un socioecosistema se ha visto como un sistema hidráulico en donde:

Cada fase tiende a corresponder a un ámbito de responsabilidad de distintas instituciones o dependencias relacionadas con el manejo del agua. En la práctica cada institución actúa sobre un segmento del flujo, de manera que la coordinación es muy débil e inadecuada para abordar una problemática tan compleja e impide planear estrategias desde una perspectiva integrada. [...] Una de las grandes omisiones en este modelo es lo referente a las condiciones ambientales y sociales del territorio donde se originan y donde culminan estas fases secuenciales.



A pesar de lo intrincado del panorama, un actor social que aborda la complejidad del manejo de cuenca bajo una perspectiva diferente, son las asociaciones civiles que conforman a la Coalición de Organizaciones de la Bio-región Jamapa-Antigua<sup>10</sup> (COBIJA), pues laborando bajo un enfoque de cuenca social tratan de realizar una gestión integral del área de cobertura sobre la que se desenvuelven; iniciativa que en su concepción técnica –como se describirá más adelante- parece podría sobrepasar los esquemas tradicionales con los que se incide a escala local. Por consiguiente, las cuartillas que prosiguen son un esfuerzo teórico por nutrir el “*Esquema General de Componentes y Aspectos de la Metodología de Cuenca Social*” diseñado desde las organizaciones competentes, pues tal parece que vale la pena realizar algunas aproximaciones conceptuales al tema.

## **DE LOS MODELOS TRADICIONALES DE GESTIÓN DE CUENCAS AL ENFOQUE DE CUENCA SOCIAL**

### **Panorama general de la gestión del agua: 1890-1990**

El primer modelo del que compete hablar tiene un carácter meramente administrativo, pues mediante una visión hidráulica ha trabajado la gestión del agua en cuanto actividad técnica de la ingeniería; es decir, se ha encargado exclusivamente de transportar el recurso hídrico de su punto de origen al de abasto. De acuerdo a Paré, Fuentes, Vidriales y García (2012), esta concepción político-administrativa suele presentar problemas en su quehacer, ya que cada segmento del sistema al pertenecer a instituciones gubernamentales diferentes (captación, distribución, alcantarillado y depuración o saneamiento), carece de una visión integral de gestión, pues omite las condiciones socioambientales del territorio en donde se origina el recurso hídrico y donde culmina.

Ahora bien, ¿de dónde y cuando surge esta forma de hacer gestión? Un panorama de lo comentado lo realizan Luis Aboites, Diana Birrichaga y Jorge Alfredo Garay (2010), quienes en su texto “*el manejo de las aguas mexicanas en el siglo XX*”, describen cómo, entre los años 1890 y 1990, la gestión del recurso presentó una revolución hídrica; pues el manejo local que había sido caracterizado por una administración donde vecinos organizados, autoridades municipales y pequeños propietarios, establecían una normatividad sobre los usos del agua para abastecer a localidades, fábricas, ranchos, haciendas y demás usuarios; fue sustituida mediante políticas nacionales que buscaron el control hídrico.

Para los autores citados, la antesala que dio pie al control federal sobre el agua fue la inversión privada que en el México independiente empezó a figurar, y que durante el Porfiriato bajo las concesiones y apoyos arancelarios encontró el escenario idóneo; pues el hídrico pasó a ser un recurso estratégico para las empresas dedicadas al extractivismo y textiles.

A medida que avanzaba el tiempo y el interés sobre el abasto y concesiones del agua, el gobierno mexicano llevó a cabo iniciativas que eclosionaron con el pleno dominio público del recurso; esto al promulgar en 1910 la primera ley de aguas de jurisdicción federal. Tras este acontecimiento, comentan los autores: la intervención del gobierno federal lejos de reorientarse por el proyecto nacional emergente, “después de 1917 [...] desde entonces, y hasta la fecha, el agua era, es, de la nación; los particulares y colectividades sólo podían y pueden tener acceso al agua por medio de resoluciones del Estado” (Aboites, Birrichaga y Garay, 2010, p. 26).

Las acciones descritas fueron interpretadas como un despojo local del recurso y conllevaron a disputas y reclamos gubernamentales; sin embargo, la inversión pública del gobierno federal en la década de finales de los años veinte del siglo pasado en materia de riego agrícola incidieron en: i) la autosuficiencia alimentaria (durante el transcurso de tres décadas) que pasó de un cultivo de temporal al incremento de uno de riego; ii) construcción de hidroeléctricas en la década de los cuarenta para dotar de agua y electricidad a las ciudades; iii) construcción de presas monumentales; iv) sistemas de redes de agua entubada y alcantarillado y; v) ejecución de una serie de

---

<sup>10</sup> Contextualizando parte de lo dicho, la coalición que compete es un conjunto de asociaciones civiles que unieron esfuerzos a mediados del 2015, dado que se percataron de que colaborar en red puede ser una forma más eficiente de incidir sobre su área de cobertura; esto, teniendo como base de su quehacer grupal una visión compartida sobre la gestión territorial de cuenca. Ahora bien, las organizaciones de interés son: Senderos y Encuentros para un Desarrollo Autónomo Sustentable (SENDAS A.C.), Global Water Watch-México (GWW), Conecta Tierra, Vinculación y Desarrollo Agroecológico en Café (VIDA A.C.), Estudios Rurales y Asesoría Campesina-Veracruz (ERA A.C.), INANA y el Centro de Desarrollo Comunitario (CEDECO).



políticas de desarrollo regional – que apartando a los estados de la toma de decisiones- mediante la creación de Comités de Cuencas, como los de Grijalva, Tepalcatepec y Papaloapan, manejaron los temas referentes al agua (Cotler, 2015).

De la temporalidad citada hasta finales de la década de los setenta, la perspectiva federal sobre el manejo de cuencas continuó por el mismo camino; acentuando su institucionalización y burocratización dada la importancia del recurso para el desarrollo de la nación. No obstante, la emergencia de un sistema neoliberal, el adelgazamiento de los recursos naturales e incremento de la población nacional; propició que las obligaciones hídricas que habían sido ostentadas desde la federación transitaran paulatinamente hacia una descentralización administrativa.

Ejemplo de lo dicho es que hasta finales de la década de los 90 del siglo pasado, la gestión del líquido vital había sido competencia exclusiva de la Comisión Nacional del Agua (CANAGUA), laborando mediante 13 Gerencias Regionales y 20 Estatales; panorama que cambió tras la promulgación de la Ley de Aguas Nacionales en 1992 y su reforma en 2004, ya que: i) se transfirieron poderes de lo federal a lo estatal y ii) se crearon Consejos Regionales de Cuencas cuyo objetivo es la gestión de la misma.

Del mismo modo, estas modificaciones suscitaron problemas, pues crearon disputas de poder y ambientes de tensión interinstitucionales al no transferir a los estados los recursos económicos, materiales y/o humanos necesarios para el proceso de descentralización. Es decir, existe una fuerte coyuntura entre gobiernos estatales y regionales de CONAGUA (Torregrosa, 2010, mencionado en Paré, et al., 2012).

### **Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH)**

De acuerdo a Helena Cotler (2015), la transición de una gestión de cuenca hidrológica a una integral se dio durante el sexenio 2001-2006, cuando la SEMARNAT decidió adoptar este enfoque como medida óptima para el manejo de los recursos naturales en el territorio. Sin embargo, ¿esta postura de dónde parte?

A diferencia del modelo anterior, la GIRH como tema de análisis es relativamente nuevo, pues es hasta el año 2000 que la Asociación Mundial del Agua (GWP, por sus siglas en inglés) la definió como un proceso que: “promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, de la tierra y de recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultantes de una forma equitativa y sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales” (citado en Paré y Gerez, 2012, p. 29).

En el caso de México, este es un concepto que de manera incipiente ha ido guiando políticas públicas federales y estatales focalizadas en la planeación de cuencas, uso estratégico del agua y distribución de la misma para espacios urbanos y rurales (Cotler, 2015). Por tanto, dada su importancia, y considerando que su integración al plano internacional ha sido conflictiva, conviene realizar un breve abordaje histórico para comprender sobre qué se está trabajando.

De acuerdo a Calderón y Torregrosa (2010), la antesala sobre la GIRH tomó lugar en las cumbres de Dublín y Río en 1992, bajo el eslogan “crisis del agua”. No obstante, su institucionalización ha sido un tema controvertido, debido a los debates internacionales suscitados en torno a la naturaleza del líquido vital; es decir, en cuanto a bien económico y derecho humano.

Como prelude de lo comentado, la crisis del agua como tema de análisis –de acuerdo a los autores mencionados- tienen su origen en 1977 en el marco de la Conferencia de las Naciones Unidas de Mar de Plata, Argentina, donde se empezó a cuestionar la relación entre desarrollo económico, pobreza y sustentabilidad. En este primer momento, se trató de incorporar a una agenda común la idea de que todo ser humano tiene derecho de acceso al agua; sin embargo, el paso de los años y la llegada de los modelos neoliberales en la década de los ochentas, hizo que esta visión se viera eclipsada.

Tal desinterés u omisión sobre lo propuesto en Argentina se hizo evidente en la Conferencia Internacional sobre Agua y Medioambiente en Dublín (1992), pues las discusiones que se propiciaron en torno al líquido vital no siguieron el cauce del derecho, sino la caracterizaron como poseedora de valor económico dado sus usos competitivos<sup>11</sup>; postura que apoyada por los economistas neoclásicos, argumentaba que el agotamiento del recurso

---

<sup>11</sup> De forma paralela, Río en 1992, adjudicó al Banco Mundial la gestión de fondos para el cuidado del medio ambiente; situación que sería criticada por los llamados países subdesarrollados, ya que para poder acceder a los financiamientos requerían de una participación privada, o en su defecto, de una inversión pública-privada (Calderón y Torregrosa: 2010).



emanaría de la falta de incentivos para su cuidado y conservación (Llop, Paulet, y Speziali, 2007, mencionados en Calderón y Torregrosa, 2010).

Dados los desacuerdos de la época, en 1996 se creó el Global Water Partnership (GWP) y el World Water Council (WWC), bajo el objetivo de unir los esfuerzos fragmentados en torno a la gestión del agua; iniciativa que proponía:

[...] establecer mecanismos eficaces para la gestión de aguas compartidas, para apoyar y preservar los ecosistemas, fomentar el uso eficiente del agua, abordar cuestiones de equidad de género en el uso del agua y fomentar la colaboración entre los miembros de la sociedad civil y los gobiernos (WWC, 1997, citado en Calderón y Torregrosa: 2010, p. 326).

Sin embargo, en el II Foro Mundial del Agua en el Haya, Países Bajos (2000), la postura de la ONU fue ajena a la del GWP y el WWC, ya que defendiendo los intereses de las empresas que patrocinaron el evento, como: Nestlé, Unilever, o Heineken, propusieron una GIRH basada en precios que pudieran ser alcanzados por los usuarios.

Pese a que también se impulsaron visiones que defendían el derecho humano al agua, como el Foro Alternativo Mundial del Agua en Florencia, Italia (2003), el Primer Foro Mundial de los Pueblos por el Agua en Nueva Delhi (2004), el Cuarto Foro Social Mundial en Mumbai (2004) o el Segundo Foro Alternativo Mundial del Agua en Ginebra (2005); la postura que predominó fue la del vital líquido en tanto bien económico, defendida por todo el entramado de instituciones que recelaban los derechos empresariales, como: la Conferencia Internacional sobre Agua Dulce en Bonn, Alemania (2001), la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible Río+20 (2002) o el III Foro Mundial del Agua de Kioto, Japón (2003).

Quizá un panorama alentador se dio en el IV Foro Mundial del Agua realizado en México en 2006, pues las discusiones sobre el vital líquido como bien económico *versus* derecho humano se hicieron explícitas, concentrando con esto ambas posturas en un solo espacio de diálogo; empero, desconociendo la Declaración Ministerial, pues se consideró que se requería reformar legislaciones locales y organismos internacionales para adoptar la visión del agua como un derecho humano. Del mismo modo, se estableció que la GIRH como instrumento de desarrollo debía adaptarse a la realidad inmediata, pues no puede ser utilizada como un modelo universal (Calderón y Torregrosa: 2010).

Finalmente, un cambio significativo se dio en el 2009 en el marco del V Foro Mundial del Agua en Estambul, Turquía, pues la discusión sobre la posibilidad de reconocer el derecho humano al agua concluyó con la firma de 25 países quienes aceptaron la Declaración Ministerial<sup>12</sup>. Igualmente, se hizo un llamado para que el próximo Foro Mundial del Agua sea Organizado por la ONU y no por la WWC y los intereses privados de las empresas (Calderón y Torregrosa: 2010).

Tal parece que lo descrito hasta el momento indica que la GIRH puede ser interpretada en el sentido que convenga, ya sea bajo una visión economicista que busca abrirse paso en el mercado del agua o como un derecho humano que pretende mejorar las condiciones de vida.

Del mismo modo, este posicionamiento político sobre la cuenca puede ser un avance en materia de gestión integral; sin embargo, administrativamente presenta algunos inconvenientes en cuanto a su carácter operativo; por ejemplo, Ana Burgos y Gerardo Bacco (2015), señalan que ante la incertidumbre de seguridad hídrica y cambio climático se ha ubicado a la cuenca hidrográfica como la unidad de gestión óptima para subsanar lo que acontece; no obstante, tales iniciativas al presentarse en un escenario Estado-Nación, requieren superar las delimitaciones del relieve que no siempre convergen con el carácter político-administrativo de las diferentes escalas del gobierno; es decir, las subcuencas, microcuencas o cuencas, no obedecen a las lógicas sectoriales establecidas por un país, sino a unas biofísicas.

Aunado al problema de cómo delimitar el manejo de cuenca, destacan los procesos sociales, pues éstos al establecerse en un continuum geográfico y por tanto expresarse en un territorio, surge lo tangible y lo intangible como elementos a considerar, dado que los individuos al asentarse en zonas rurales y urbanas pueden compartir y yuxtaponer territorialidades. Esta situación genera que la apropiación, uso y control que se tiene sobre el espacio

---

<sup>12</sup> Como dato a lo comentado, México no firmó estas Declaraciones Ministeriales ni en el 2006 ni en el 2009.



físico no obedezca –al igual que el relieve biofísico- a una sectorización establecida por un Estado-Nación (Burgos y Bacco, 2015).

Otra forma de entender lo anterior es la que brindan Paré, et al. (2012), pues comentan que la GIRH tiene que ver con la gestión del espacio y la resolución de conflictos; panorama complicado, ya que si bien a escala local en cuestiones hidrográficas se puede estar hablando de subcuenca, microcuenca y cuenca que conforman territorios ocupados, a nivel administrativo se haría referencia a 25 Consejos de Cuenca, 20 Gerencias Estatales y 13 Regiones Hidrológicas que conciben territorios normados; situación que genera un contrapunto político-administrativo en cuanto a la toma de decisiones.

### **Primeras aproximaciones al enfoque de cuenca social**

Dicho esto, en una línea diferente de razonamiento, la literatura que se perfila a brindar aportaciones teóricas significativas sobre la importancia del enfoque social en la gestión de cuencas es vasta; sin embargo, son pocos los investigadores e investigadoras que han dado definiciones puntuales que permitan tener una postura clara sobre el tema. En este sentido, una autora que ha incursionado sobre este quehacer es Poats (2007, citada en Paré y Gerez, 2012, p. 28), quien la define como:

Una cuenca social es, entonces, un espacio delimitado por los nacimientos de los cursos de agua y las zonas altas que los protegen y nutren, y se extiende hasta donde llegan las aguas ‘naturalmente’ y hasta donde se conduce el agua por los hilos contruados por las sociedades. Se puede decir que es una composición compleja que comprende la cuenca geográfica y sus zonas de influencia, determinadas por los usuarios y usuarias del agua. Una cuenca social suele implicar un traslape de varias cuencas geográficas entrelazadas por el tejido social que construyen los múltiples usuarios.

Sin duda este esfuerzo por definir qué se entiende por cuenca social es importante, sin embargo, tal apreciación si bien anuncia la presencia del tejido social en el espacio geográfico que compete, su mayor focalización se centra en una delimitación hidrológica; postura que puede obstaculizar el análisis del territorio visto desde los procesos de territorialidad y territorialización que, al tiempo que dibujan los límites de la cuenca bajo otras lógicas, matizan de diferente manera las formas en las que los habitantes se apropian de su entorno biofísico inmediato. Por consiguiente, vale la pena acercarse al concepto de cuenca social desde frentes más apropiados y diversos.; mismos que han de sostener la definición que se pronuncia al final del apartado.

Considerando lo anotado en el párrafo que precede, Helena Cotler y Georgina Caire (2009), señalan que la gestión de cuenca es un proceso que mediante la participación organizada de la población: planea, implementa y evalúa las acciones que han sido encaminadas a contrarrestar y/o controlar los efectos negativos que se presentan en el territorio. Del mismo modo, el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales con fines productivos, la prevención y control sobre la degradación ambiental y la conservación de ecosistemas, son parte del contexto en el que se debe focalizar este tipo de quehacer; pues son acciones que repercutirán positivamente en la integridad ecológica y social de la cuenca.

Otras aportaciones son las de Burgos y Bacco (2015), quienes mencionan que la cuenca hidrográfica como espacio biofísico incide en varias de las expresiones socioculturales de los individuos que la habitan; por ejemplo, actividades agropecuarias e industriales, asentamientos humanos, crecimiento económico, etc. Del mismo modo, como área geográfica es apropiada por la acción colectiva de los locatarios al conformarse territorios que son determinados y caracterizados por los usos que se les dan a los recursos naturales, la historia de las comunidades y las instituciones establecidas y/o emergentes. En este sentido, de acuerdo a los autores, el manejo de cuenca no debería disociar los caracteres sociedad-naturaleza, pues son elementos concatenados a considerar cuando se quiere trabajar bajo esta escala.

Sin duda lo referido hasta el momento enriquece en gran medida la concepción de cuenca social, aunque hay que anotar que quizá quienes proporcionan más elementos para entender este enfoque son Paré, fuentes, Vidriales y Gerez (2012), pues señalan que las relaciones sociales y problemáticas emanadas por el acceso al agua y demás recursos naturales entre los múltiples usuarios que habitan una cuenca, han ocasionado que el análisis de ésta no sea ya únicamente desde una perspectiva biofísica, sino también desde una social. Por tanto, comentan que la gestión del espacio referido debería contener una visión local del territorio y considerar las alianzas tradicionales y potenciales que se dan al interior del mismo. Para estas autoras, abordar la cuenca como un socioecosistema



permite entender la interacción compleja y dinámica entre sistemas naturales y sociales, ya que se toman en cuenta los componentes biofísicos, económicos y sociales que se encuentran presentes en este tipo de espacio. Igualmente, el territorio al ser comprendido como un elemento ocupado y no tanto jurídico, posibilita salirse de los límites político-administrativos tradicionales que no siempre corresponde a la realidad campo-ciudad, para incursionar en mecanismos de participación horizontales.

Al respecto de este último elemento –la participación– hay que comentar que de acuerdo a Paré, et al., (2012), se debería enmarcar en tres ejes. El primero hace referencia a la cogestión de cuenca, entendida como: “una participación plural en la gestión de los recursos naturales, basada en el aprendizaje recíproco y la negociación entre intereses y preocupaciones diferentes, incluyendo aquellos de los expertos técnicos y autoridades normativas” (p. 32).

Bajo esta visión, la diferencia entre una gestión tradicional y una cogestión se da en el grado de participación que tienen los diferentes actores sociales durante el proceso; pues mientras en la primera el involucramiento de los interesados y afectados por el manejo de los recursos naturales puede estar desdibujado, en la segunda los individuos son ubicados en un primer plano, donde a partir de ellos se planean y diseñan las acciones (Faustino, Jiménez y Campos, 2006; mencionados en Paré et al., 2012). Por tanto, gran parte de lo que se gestiona es el conflicto, ya que los territorios ocupados al contener sistemas administrativos disímiles, ocasionan que la apropiación sobre los recursos naturales provoque, en la mayoría de los casos, roces entre los usuarios.

En cuanto al segundo eje, resalta la gobernanza como proceso que reconociendo las dimensiones históricas y culturales que conforman los territorios de una cuenca, y destacando la importancia e incidencia que los actores locales, organizaciones civiles e instituciones gubernamentales presentan sobre este espacio biofísico; pretende una gestión horizontal que –de manera cooperativa– negocie con los múltiples intereses referentes a los recursos naturales, resuelva conflictos emanados de éstos y se ejerza un poder político caracterizado por fines y valores específicos de los involucrados con el fin de que éste derive en una política pública regional.

Dicho esto, como tercer mecanismo se encuentra la investigación acción participativa, pues mediante ésta se crean espacios y plataformas sociales que posibilitan el involucramiento de los diferentes actores sociales en los procesos de aprehensión de la realidad, reestructuración del tejido social, toma de decisiones y acciones colectivas. A lo comentado, una forma en la que Paré et al., (2012) entienden este concepto es el que retoman de Encina, Domínguez y Alcón (2008: s. n. p.):

Un proceso en el que la gente participa en diferentes espacios y momentos para definir sus necesidades y encontrarse con los satisfactores. Es un proceso que está alentado y apoyado por personas expertas en esta metodología. Este encuentro con satisfactores produce intercambio y construcción colectiva de conocimiento que puede provocar acciones de cambio. Por lo tanto, para nosotros, la IAP es una metodología que puede ayudar no sólo a la transformación de las cosas materiales, sino que también produce cambios colectivos.

Concluyendo con el panorama general que proporcionan los autores que competen, la razón de optar por esta metodología y orientación epistemológica en la investigación, se debe a que la cogestión y gobernanza como mecanismos horizontales de participación requieren de romper con la dicotomía entre sujeto y objeto, dado que la apropiación de los procesos trabajados se dará en la medida en que los diferentes actores sociales se involucren en éstos.

### **¿Cómo entender el territorio?**

A manera de introducción, vale la pena comentando que el carácter polisémico que sigue al concepto de territorio hace necesario aclarar qué se entiende por éste, pues cuando no se le confunde con región se le homologa a la definición de espacio. Del mismo modo, dado que desde diferentes disciplinas y/o ciencias su significado puede variar, parece pertinente tomar una postura que permita integrarlo al enfoque de cuenca social.

Como se acaba de comentar, el concepto de región tiende a homologarse al de territorio; no obstante, las implicaciones y sentidos de cada uno es diferente, pues mientras el primero, a grandes rasgos, emana de una división espacial basada en características económicas y políticas bien definidas, cuya finalidad se encausa a una administración pública y política de los espacios homogéneos (Llanos, 2010); el segundo se enfoca en las relaciones sociales y formas de apropiación que el ser humano denota en su entorno biofísico inmediato.



Al respecto del párrafo anterior, Francisco Ther (2012), reconoce la existencia de una concepción del territorio articulada bajo una lógica administrativa; visión normativa-jurídica donde políticas sectoriales entienden los espacios como regiones, subordinándolos a intereses de tipo económico y dejando de lado los aspectos socioculturales específicos del área o áreas competentes. No obstante, -continúa el autor- esta perspectiva es insuficiente, ya que no permite ver la heterogeneidad y múltiples territorialidades presentes en el medio biofísico que el ser humano habita; en lugar de eso, conviene entender que: “el territorio es espacio construido por y en el tiempo [...] viene a ser producto del conjunto de relaciones que a diario el ser humano entretejió entre todos los suyos con la naturaleza y con los otros” (p. 5). Desde esta óptica, las lógicas que componen a esta escala de análisis son complejas, ya que no tienden a ser explícitas, sino, más bien, se encuentran implícitas en las relaciones socioculturales de los individuos.

Sobre este último punto; es decir, las relaciones socioculturales, son entendidas como territorialidades, cuyo autor citado define como: “comportamientos desplegados en el territorio que se relacionan con la idea de cómo [...] se llega a habitar y permanecer en un espacio sobre el cual se imponen ritmos de vida y formas de interactuar [...]” (Ther, 2012, p. 5). En cuanto a la territorialización, se refiere a los vínculos de varias conexiones, por tanto, el ser humano más que habitar en un territorio se desenvuelve en territorios.

De acuerdo a esta postura, el individuo tiende a apropiarse de los espacios que lo rodean y, con esto, transforma su medio natural, establece un dominio geográfico, define fronteras tangibles e intangibles, construye un sentido de identidad espacial, lidia con conflictos en el espacio limitado, pero, sobre todo, comparte y disemina estas formas de ser con sus allegados.

No obstante, hay que aclarar que el territorio puede entenderse como espacio siempre y cuando no se pierda de vista que se hace referencia al soporte biofísico de las actividades humanas cuya semántica cambia, pues contiene varios tiempos, varias historias y varios imaginarios. De acuerdo a Horacio Copel (2016), territorio y espacio son conceptos que se integran, pero que no refieren a lo mismo, pues mientras el primero es un constructo sociocultural, el segundo atiende al área biofísica inmediata. No obstante, se sostiene que se complementan, ya que el territorio es un espacio apropiado por los grupos sociales.

En suma, más que hablar de territorios normativos se hace referencia a lo que Francisco Ther (2010), concibe como “territorios vividos”, y en este sentido, el concepto se articula al enfoque de cuenca social, pues, como se vio en el apartado anterior, se hace referencia a una coestión cuya característica principal es la participación y apropiación de los proyectos y procesos por parte de los habitantes; esto a partir de la planeación y toma de decisiones emanadas desde ellos. Igualmente, para las lógicas de este trabajo, hablar de gestión del territorio alude a las relaciones sociales presentes en el área de cobertura de interés; por consiguiente, desenvolverse en ésta bajo un concepto rígido como el de región, o la misma concepción jurídico-administrativa que se puede llegar a tener sobre el territorio, impide voltear la mira hacia los intereses, saberes, conflictos, imaginarios y demás motivaciones de quienes habitan la cuenca; en consecuencia, tal parece que la postura expuesta en este apartado puede integrarse de manera pertinente a la definición de enfoque de cuenca social que se abordará en breve.

### **Características técnicas del enfoque de cuenca social como modelo de gestión del territorio**

Como se mencionó anteriormente, el “*Esquema General de Componentes y Aspectos de la Metodología de Cuenca Social*”, es la herramienta técnica en la que se encuentran plasmados y descritos los elementos a considerar en una gestión del territorio a escala de cuenca; mismo que fue conformado en el año de 2017, por la Coalición de Organizaciones de la Bio-región Jamapa-Antigua.

A grandes rasgos, la herramienta mencionada está integrada por seis componentes que desde la visión de las organizaciones debe tener una gestión con enfoque de cuenca social: el primero hace alusión a los factores biofísicos y supone considerar los elementos que describen a un área determinada; por ejemplo, delimitación geográfica, caracterización de flora y fauna, relación entre prácticas culturales y naturaleza, etc. El segundo se refiere a la información sociocultural que distingue a las poblaciones, como demografía, procesos identitarios, percepciones e intereses sobre el territorio, entre otros.

Consecuentemente se encuentran los procesos económicos que atienden a la estructura económica de la región, tipos de mercados, sistemas de consumo y relaciones económicas de subsistencia. En cuarto lugar, se presenta la cuenca como espacio de políticas públicas, tratando temas relativos a incidencia democrática, toma de decisiones,



ordenamiento territorial, delimitación de leyes, ejercicio de la ciudadanía y conformación de espacios de participación.

En el cinco prosigue el reconocimiento de sujetos y actores sociales y colectivos clave. Este punto incluye la caracterización e identificación de los mismos, pues se reconoce que en un proceso de gestión los avances o limitaciones pueden ser condicionados por su actuar. Finalmente, el sexto componente es el contexto que brinda información en dos niveles: en cuanto a contorno o dinámica interna de la cuenca que alude a los acontecimientos suscitados al interior de ésta y, respecto a su entorno, que aborda las dinámicas sociales, políticas, económicas, etc., que, a pesar de ser externas, pueden influir en ella; por ejemplo: iniciativas de leyes a nivel federal.

Sobre los componentes señalados, es necesario mencionar que fueron pensados bajo valores y principios éticos que atienden a: i) mantenerse informados sobre los modos actuales de vivir y de relacionarse con la naturaleza; ii) desenvolverse cuidando el territorio común, respetar la vida comunitaria y los saberes locales; iii) promover la vida digna con equidad de género, social, cultural, ambiental y económica, para actuar contra la injusticia, desigualdad y opresión; y iv) tener presente que las relaciones sociales, los modos de convivir, trabajar y producir, deben fortalecer la capacidad de las personas y colectivos de tomar decisiones sobre sus territorios, a fin de nutrir sus propias formas de vida (COBIJA, 2017).

Paralelamente a lo comentado, de acuerdo a la coalición, tales principios permiten entender la cuenca como: i) territorios en el que se desenvuelven la vida de quienes la habitan, ii) el espacio en que se cruzan procesos naturales, ambientales, ecosistémicos, sociales, culturales, económicos y políticos; iii) resultado de la evolución de la naturaleza, del imaginario social y de la historia humana; y iv) como territorios donde se desea participar en el diseño y aplicación de políticas públicas junto con los gobiernos.

Para finalizar, es importante destacar que tales posicionamientos convergen, por un lado, con las concepciones de cogestión, participación horizontal, territorio, sustentabilidad y gobernanza ambiental, que fueron abordadas en apartados anteriores, y por otro, con los seis componentes técnicos que integran al enfoque de cuenca social; ya que, si se pone atención a su contenido, éste se encuentra presente en los rubros señalados.

## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES EN TORNO AL ENFOQUE DE CUENCA SOCIAL**

Después de haber navegado por los conceptos que se anuncian serán los ejes medulares de la definición que compete, y habiendo descrito, grosso modo, los componentes que la coalición de interés seleccionó para integrar al enfoque de cuenca social en cuanto a su carácter técnico, no queda más que realizar unas breves anotaciones que concluyan con el posicionamiento de los que suscriben; mismo que se espera sea útil para quienes se desenvuelven bajo esta visión de cuenca, al tiempo que nutra la literatura existente.

En principio, sumarle a la cuenca hidrográfica la categoría de territorio permite repensarla más allá del espacio geográfico donde límites naturales son demarcados por los escurrimientos de agua, pues la apropiación que el ser humano hace sobre su entorno biofísico erige nuevos horizontes; mismos que, comenta Francisco Ther Ríos (2012), son vividos en modos de ser específicos, llamados territorialidades, que se comparten y reproducen entre las y los locatarios.

Del mismo modo, estos modos de ser al suscitar interacciones sociales que pueden, o no, converger con la de otros individuos, provocan diferentes formas de apropiación de los espacios biofísicos; es decir, procesos de territorialización que propician que la cuenca albergue más que un territorio, territorios derivados de la resemantización que el ser humano ejerce sobre sus entornos.

Hasta este punto cuenca y territorio son dos conceptos que convergen, dado que el primero es el espacio apropiado donde se reproduce el segundo. Sin embargo, existen algunos fenómenos que se presentan al interior de esta escala, y que tienen que ver con los problemas socioambientales suscitados de las formas en las que el ser humano se relaciona con sus recursos naturales; actividades que pueden derivar en degradación ambiental, injusticia social, pobreza, entre otros. Por tanto, surge la necesidad de contar con referentes teóricos-prácticos que sean capaces de abordar tales circunstancias; es decir, se hace referencia a la cogestión y gobernanza ambiental.

La razón de tal elección se debe a que un principio de la cogestión es la mediación del conflicto -problemas socioambientales- desde las y los diferentes actores sociales que se ven afectados por el acceso a sus recursos naturales (Paré, et al., 2012); ejercicio caracterizado por una participación horizontal que puede derivar en acciones



políticas, es decir, procesos de gobernanza ambiental. Por consiguiente, se estaría hablando que, considerando las características biofísicas de la cuenca, se procura una cogestión del territorio que dé paso a una gobernanza ambiental del mismo.

Quizá convenga detenerse un momento en estos conceptos para realizar dos aclaraciones que el que suscribe considera prudentes: i) tanto la cogestión como la gobernanza son mecanismos propuestos para la construcción de plataformas sociales que permiten una participación ciudadana horizontal; no obstante, la primera persigue un fin más estratégico y organizacional en cuanto al diseño y toma de decisiones, mientras la segunda busca incidir sobre la política pública local; y ii) podría decirse que la incidencia política que busca la gobernanza ambiental es el resultado de una cogestión integral, ya que los procesos que derivan de esta clase de acciones no son instantáneos, pues requieren madurar en el tiempo.

Como último punto a considerar antes de proseguir con la definición del enfoque de cuenca social, vale la pena entender la sustentabilidad como un proceso que a partir de los imaginarios sociales de quienes habitan la cuenca, busca: i) una nueva percepción y asociación entre naturaleza y cultura; ii) ecologizar y reorientar los potenciales tecnológicos y ambientales; iii) dar paso a que los diferentes actores sociales que habitan los territorios sean capaces de tomar decisiones democráticas sobre el uso de sus recursos naturales; y iv) que las decisiones sean económicamente justas para los involucrados (Leff, 2010; 2014).

En suma, después de lo expuesto, se puede entender como enfoque de cuenca social como la construcción territorial que se deriva de una cogestión que a la par de concebir la cuenca hidrográfica como un espacio geográfico donde límites naturales son demarcados por los escurrimientos de agua, también se percata que ésta alberga “territorios vividos” suscitados de la apropiación que el ser humano, a través del tiempo, ha venido realizando sobre sus recursos naturales; acción que dibuja horizontes culturales diferentes a los establecidos por las dinámicas biofísicas.

Como iniciativa, se desenvuelve bajo plataformas horizontales de participación social erigidas desde métodos colaborativos y/o de investigación acción participativa, mismas que integra en la planeación y toma de decisiones del territorio -ya sea por problemas socioambientales u otros intereses comunes- a los diferentes actores sociales que lo habitan, pero sin dejar de lado a los individuos, grupos, organizaciones e instituciones que, aunque se encuentren al exterior de las fronteras geográficas y/o culturales, se ven interesados o afectados por el manejo y acceso a los recursos naturales que emanan del espacio biofísico en cuestión.

Del mismo modo, su carácter sustentable, no solo considera los elementos ambientales, económicos y socioculturales, sino que, además, visibiliza la cuenca como espacio de políticas públicas donde se puede ejercer una gobernanza ambiental, reconoce a los sujetos sociales y colectivos como agentes que inciden sobre sus recursos naturales y posibilita la defensa del territorio a partir del conocimiento de las amenazas y fortalezas inscritas en su entorno y contorno.

Del mismo último, la puesta en marcha de proyectos y/o iniciativas enmarcadas en una cogestión del territorio bajo un enfoque de cuenca social, pretende subsanar y/o solucionar la degradación ambiental, acortar la brecha de género, combatir la injusticia social, hambre, pobreza y demás estragos causados por las lógicas del mercado actual y el capitalismo en su etapa neoliberal; sin embargo, también se agrega que busca resarcir el desgaste que el tejido social presenta, apuntando a un actuar colectivo desde lo local.

## LITERATURA CITADA

- Aboites, L., Birrichaga, D. y Garay, J. (2010). El manejo de las aguas mexicanas en el siglo XX. En Jiménez, B., Torregrosa, M. y Aboites, L. *El Agua en México: Causas y Encauses*. México. (pp. 21-50). Academia Mexicana de Ciencias, CONAGUA.
- Burgos, A. y Bocco, G. 2015. “La cuenca hidrográfica como espacio geográfico”. En: Burgos, A., Bocco, G. y j, Sosa. (Coords). (2015). *Dimensiones sociales en el manejo de cuencas*. México. UNAM, Río Arronte Fundación.
- Calderón, A. y Torregrosa M. 2010. “Procesos políticos e ideas en torno a la naturaleza del agua; un debate en construcción en el orden internacional”. En Jiménez, B., Torregrosa, M. y Aboites, L. *El Agua en México: Causas y Encauses*. México. (pp. 21-50). Academia Mexicana de Ciencias, CONAGUA.



- COBIJA. 2017. *Seminario para la construcción compartida de un enfoque de gestión territorial de cuenca*. México. No publicada.
- Copel, H. 2016, Las ciencias sociales y el estudio del territorio. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, Vol. 21, núm. 1.149, pp. 1-38. Recuperado de <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-1149.pdf>
- Cotler, H. y Caire G. 2009. *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. México. INE, SEMARNAT, Fundación Gonzalo Río Arronte, WWF.
- Cotler, H. (2015). Incidencia del enfoque de cuenca en las políticas públicas de México. En Burgos, A., Bocco, G. y j, Sosa. (Coords). 2015. *Dimensiones sociales en el manejo de cuencas*. México. UNAM, Río Arronte Fundación.
- Leff, E. 2010. "Imaginaris Sociales y Sustentabilidad". En *Cultura y representaciones sociales*. México, UNAM, núm. 9, año V, septiembre.
- Leff, E. 2014. *La apuesta por la vida Imaginación sociológica e imaginarios sociales en los territorios ambientales del sur*. México, Siglo XXI.
- Llanos, L. 2010. El concepto del territorio y la investigación en ciencias sociales. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, Vol. 7, núm. 3, pp. 207-220. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722010000300001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722010000300001)
- Paré, L., Fuentes, T., Vidriales, G. y García I. 2012. Marco conceptual y metodológico. En Paré, L. y Gerez (coords.). (2012). *Al filo del Agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz*. (pp. 25-50). México: Juan Pablo Editores. UNAM, SENDAS, A.C., Universidad Veracruzana, SEMARNAT, INE, U. Iberoamericana-Puebla.
- Paré, L. y Gerez (coords.). 2012. *Al filo del Agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz*. (pp. 25-50). México: Juan Pablo Editores. UNAM, SENDAS, A.C., Universidad Veracruzana, SEMARNAT, INE, U. Iberoamericana-Puebla.
- Spíndola, O. 2016. Espacio, territorio y territorialidad: una aproximación teórica a la frontera. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*. Año LX, núm. 228, pp. 27-56. Recuperado de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rmcpys/article/view/50794>
- Ther, F. 2010. Complejidad territorial y sustentabilidad: Notas para una epistemología de los estudios territoriales. *Horizontes Antropológicos, Porto Alegre, Vol. 12, núm. 25*, pp. 105-115. Recuperado de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-71832006000100006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-71832006000100006)
- Ther, F. 2012. Antropología del territorio. *Polis, Revista de la Universidad de Bolivariana, Vol. 11, núm. 32*, pp. 1-14. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30524549023>

## ID-230: MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO MAYO CON SWAT

Madaí SÁNCHEZ GALINDO<sup>a</sup>, Demetrio S. FERNÁNDEZ REYNOSO<sup>b</sup>, Mario R. MARTÍNEZ MENES (†)<sup>c</sup>, Enrique PRUNES SOTO<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, estado de México, México, sanchez.madai@colpos.mx

<sup>b</sup> Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, demetrio@colpos.mx

<sup>c</sup> Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, mmario@colpos.mx

<sup>d</sup> WWF, Leyes 712, Universidad, 31203 Chihuahua, Chihuahua., México, eprunes@wwfmex.org

### RESUMEN

La cuenca del río Mayo se ubica en la Sierra Madre Occidental entre los estados mexicanos de Chihuahua y Sonora. La cuenca cubre 7,631.6 km<sup>2</sup>, su cauce principal tiene 350 km de largo e irriga 11,000 km<sup>2</sup> antes de desembocar al Océano Pacífico. La parte alta de la cuenca, por lo escarpado de su relieve, presenta fuertes problemas de degradación (>10 t ha<sup>-1</sup>) y escasa información ambiental, por lo que se decidió usar el modelo SWAT para identificar áreas prioritarias de intervención con base en el balance hidrológico que SWAT realiza por Unidad de Respuesta Hidrológica (URH). Para el modelado de la cuenca se usaron 40 años de información climática obtenida del Climate Forecast System Reanalysis (CFSR). La distribución de suelos en la cuenca se realizó a partir del modelo digital de elevaciones y covariables ambientales. La cobertura vegetal se obtuvo de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2017). Con esta información, la cuenca se dividió 593 URH, sobre las cuales se estimaron las condiciones hidrológicas y se priorizaron áreas de intervención. Con aforos de escurrimientos y sedimentos de la estación hidrométrica San Bernardo (09067) se calibró y validó SWAT para los períodos 1979-1990 y 1991-1999, respectivamente. Para comparar la eficiencia entre los escurrimientos y sedimentos, simulados y observados a nivel mensual, se utilizó el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y el índice de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE). Para escurrimientos, durante la calibración se obtuvo un  $r^2$  de 0.77 y un NSE de 0.76 y en la validación un  $r^2$  de 0.67 y un NSE de 0.68. Para los sedimentos en suspensión, en la calibración resultó un  $r^2$  de 0.68 y un NSE de 0.29; por lo que se concluye que SWAT se calibró satisfactoriamente. Con esta certeza se priorizaron 15 localidades (10,602 ha) con altas pérdidas de suelo por unidad de biomasa producida (>10 t/t), las cuales requieren de acciones de manejo sustentable para detener la degradación de sus suelos.

**Palabras clave:** Priorización de localidades, calibración, validación, SWATCUP, Nash-Sutcliffe.

### 1 INTRODUCCIÓN

Las cuencas son el sustento de las poblaciones humanas y comunidades bióticas que las habitan; además, asiento de una variada gama de sistemas de producción agrícola (Biesbroek, Swart, & van der Knaap, 2009). Desafortunadamente, la intervención humana desmedida en cuencas altas conduce, frecuentemente, a la degradación acelerada de sus recursos naturales y genera graves problemas ambientales.

Un ejemplo de ello ocurre en el noreste de México, entre los estados Chihuahua y Sonora, en la cuenca hidrológica del río Mayo, de gran importancia agrícola y forestal. Además, al pertenecer a la sierra Madre Occidental, la cuenca se compone por una cadena de montañas de origen volcánico en forma de bloques inclinados y un amplio sistema de cañones profundos, que han favorecido la presencia de erosión y degradación del suelo, generando así la pérdida de la productividad actual y potencial.

En la parte baja de la cuenca se ubica el Distrito de Riego 089 Río Mayo, que cuenta con una superficie de 97,051 ha; mientras que la parte media-alta de la cuenca, situada en la sierra Tarahumara, cuenta con una rica mezcla de ecosistemas y especies templadas y tropicales amenazada por la explotación forestal, sobrepastoreo y agricultura en laderas. Lo anterior, ha impactado la producción de alimentos, forraje, madera y la calidad del agua, ya que el mal manejo de este territorio repercute negativamente en los procesos ambientales de la parte baja (Mintegui Aguirre & Robredo Sánchez, 1994). Ante esta problemática, surgió la necesidad de identificar los procesos



hidrológicos actuantes en las áreas más vulnerables de la parte media-alta de la cuenca a fin promover en estos sitios el uso adecuado de los recursos hídricos y edáficos de la cuenca.

Con la priorización se busca establecer el orden a seguir para la implementación de medidas de conservación del suelo en las localidades más propensas, identificadas a través de Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) del modelo SWAT, a la erosión y bajos rendimientos de biomasa; a fin de seleccionar las prácticas de gestión apropiadas y evaluar los impactos a futuro de las variables que controlan la dinámica de la cuenca (Duru, Arabi, & Wohl, 2017).

Existen numerosos modelos de simulación que permiten estimar el balance hidrológica por subcuencas; entre estos, destaca SWAT (Soil and Water Assessment Tool); clasificado como un modelo físico, semidistribuido y de tiempo continuo. Este modelo fue desarrollado para simular y predecir escurrimientos, carga de sedimentos y rendimiento de biomasa en cuencas grandes y complejas; con diferente tipos de suelo, cultivos y estrategias de manejo (Arnold *et al.*, 2012, Neitsch *et al.*, 2011, Gassman *et al.*, 2007).

Dado que los modelos son aproximaciones de sistemas reales (Daggupati *et al.*, 2015), para que estos se consideren confiables, deben ser capaces de predecir el comportamiento del sistema real bajo una amplia gama de condiciones sobre un periodo extendido de tiempo (Méndez-Morales, 2013). Para cumplir con ello, es necesario comparar, mediante la calibración y validación de los parámetros más sensibles, los resultados del modelo con datos observados (Daggupati *et al.*, 2015). La calibración es el proceso por el cual se ajustan los parámetros de un modelo para aumentar, dentro de los rangos recomendados, la precisión de las predicciones de los procesos hidrológicos que ocurren en la cuenca y se reduzca la incertidumbre de los impactos específicos de las acciones de manejo. La validación permite demostrar si un modelo calibrado, específico a un sitio puede continuar simulando con suficientemente precisión un nuevo escenario de modelado (Arnold *et al.*, 2012; Moriasi *et al.*, 2012; Daggupati *et al.*, 2015; Refsgaard, 1997).

Al efectuar la calibración y validación pueden existir incertidumbres que surgen de la gran variabilidad espacial y de la multitud de parámetros de entrada que utiliza el modelo. Esto errores pueden sub o sobre estimar los procesos hidrológicos, y llevar a decisiones erróneas. Por lo tanto, es crucial llevar con cuidado la calibración y el análisis de incertidumbre de los modelos hidrológicos para obtener simulaciones mejoradas. En este sentido, Abbaspour (2014) recomienda SWAT-CUP para facilitar la calibración de SWAT y sistematizar la combinación de múltiples parámetros, con diversos rangos de variación, a fin encontrar la combinación óptima de parámetros y valores para minimizar así la incertidumbre de predicción.

El modelo una vez calibrado se torna en una herramienta útil para ejecutar programas de gestión y manejo en áreas críticas, que por su degradación, necesiten mayor atención, es decir, aquellas donde la tasa de erosión del suelo excede el valor de la tasa máxima permisible de pérdidas de suelo (Tripathi, Panda, & Raghuwanshi, 2003). Tomando en cuenta lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo calibrar y validar los escurrimientos y sedimentos, de la cuenca alta del río Mayo, con el modelo SWAT a fin de priorizar, con la mayor certidumbre posible, las áreas críticas para desarrollar planes de intervención y control de la degradación.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca alta del río Mayo, se ubica geográficamente en los paralelos 28° 20' 50.34" y 26°57'59.67" de latitud norte, y entre los 109°48'46.18" y 108° 8'50.78" de longitud oeste. Esta se encuentra entre los estados mexicanos de Sonora y Chihuahua, y comprende una superficie de 7,631.6 km<sup>2</sup> (Figura 1).



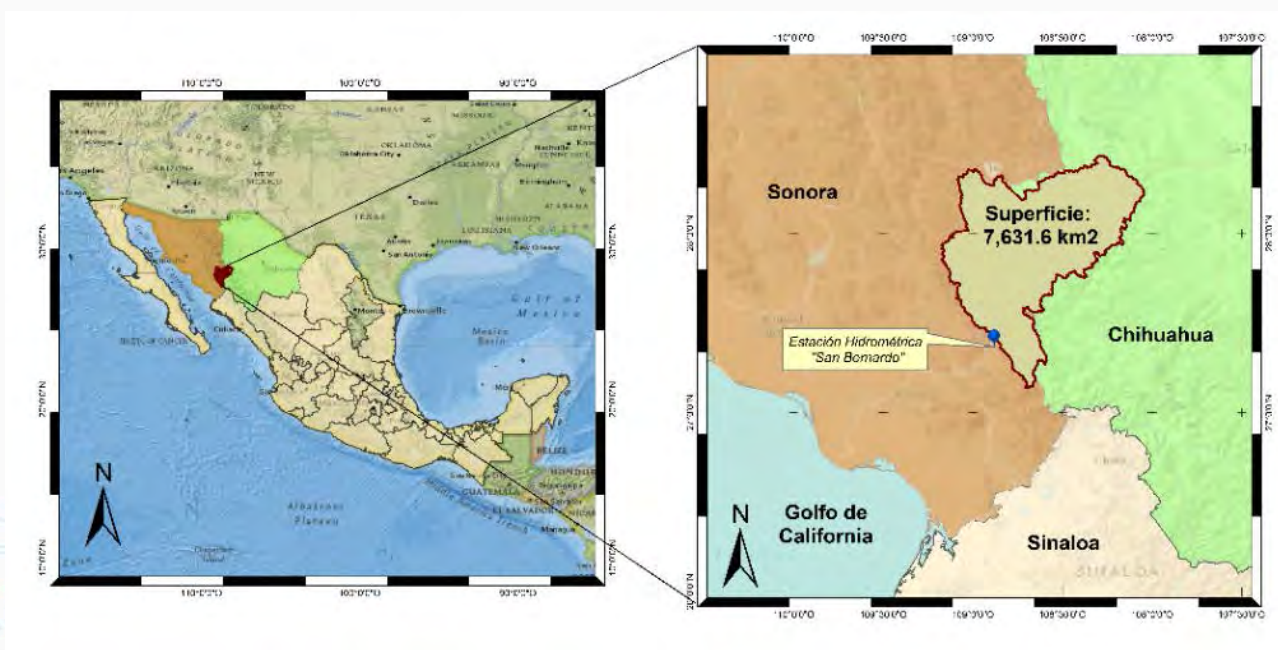


Figura 1. Localización de la cuenca del río Mayo, Chihuahua - Sonora, México.

La cuenca abarca 14 municipios (6 del estado de Chihuahua y 8 del estado de Sonora) y 7 localidades (Melchor Ocampo, Moris, Rosario, Quiriego, Navojua, Etchojoa y Huatabampo).

El río Mayo emerge en la Sierra Madre Occidental dentro del estado de Chihuahua, y recorre 294 km hasta su desembocadura en el Golfo de California.

### Simulación hidrológica

La simulación hidrológica se realizó en tres etapas principales: 1. Alimentación del modelo, 2. Configuración del modelo y 3. Calibración y validación. Para ello se utilizó la versión ArcSWAT 2012.10.4.21, la cual es una extensión e interfaz de ArcGIS para SWAT (Arnold, Kiniry, *et al.*, 2012; Neitsch, Arnold, Kiniry, & Williams, 2011).

**Alimentación del modelo.** Para la modelación hidrológica fueron necesarios datos climáticos, topográficos, uso y cobertura de suelo y tipos de suelo. Con el fin de que el modelo trabajará correctamente, a través de ArcGis 10.4, la información espacial se estandarizó al sistema de Proyección Transversal de Mercator (UTM) Zona 14, Datum WGS 1984.

- a. Topografía.** De INEGI (2017) se obtuvo el modelo digital de elevaciones (MDE) con resolución de 30 m para el área de estudio. Para quitar imperfecciones en la información del MDE y permitir la generación de un drenaje continuo y coherente de acuerdo a la topografía se le aplicó la corrección de rellenar vacíos (fill) mediante ArcGIS 10.4.
- b. Uso de suelo y vegetación.** La información espacial de uso de suelo y vegetación se tomó de CONABIO (2017) con resolución de 30 metros. Cada cobertura de suelo presente en la cuenca se asoció con los códigos de las coberturas existentes en la base de datos de ArcSWAT.
- c. Clima.** A través del Sistema de Pronóstico Climático (CFSR, por sus siglas en inglés) se obtuvo una malla de 38x38 km de 36 estaciones climáticas. Para cada estación se obtuvieron los registros de datos diarios de precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento para un período de 36 años (1979-2014).



**d. Suelos.** Para identificar los suelos se recurrió a la técnica de Mapeo Digital de Suelos (MDS), para inferir la distribución espacial de los grupos de suelo a través de covariables ambientales y datos de campo (McBratney *et al.*, 2000; Lagacherie, 2008; Adhikari *et al.*, 2014, Abarca y Bernabé, 2010; Van Zijl *et al.*, 2014).

**e. Manejo.** Ante la predominancia del cultivo de maíz en la cuenca (64.2%), se optó por simular el área agrícola como si fuera cultivada en su totalidad por este cultivo básico. Para ello, en SWAT se definió la fracción de unidades de calor potencial (HUSC) en la que tiene lugar cada práctica de manejo realizada por los agricultores de la zona (rastreo, siembra, escarda, fertilización, cosecha y barbecho).

**Configuración del modelo.** En ArcSWAT, el área modelada se divide en múltiples subcuencas mediante la superposición de la elevación, la cobertura del suelo, el suelo y las clases de pendiente.

Con la información recopilada, se delimitó la cuenca hasta la estación hidrométrica San Bernardo (09067). Tomando un área mínima de drenaje de 10,000 ha, una selección de pendiente única y una definición de Unidades de Respuesta Hidrológica (URH) por clases dominantes de uso del suelo, suelo y pendiente de 0%,0%,0%, la cuenca se dividió en 45 subcuencas y 593 URH. Esta elección fue esencial para mantener el tamaño del modelo en un límite práctico.

La evapotranspiración potencial se calculó utilizando el método Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985) que requiere el aporte climático de la precipitación diaria y la temperatura mínima y máxima.

La escorrentía superficial se simuló utilizando una modificación del método de número de curva (CN que ha sido exitoso para muchas aplicaciones y una amplia variedad de condiciones hidrológicas (Gassman *et al.*, 2007; Schuol *et al.*, 2008). El transito del flujo en los canales del río se calculó utilizando el método de Muskingum (Chow, 1959).

**Calibración y validación.** Para realizar la comparación de los valores de caudales y sedimentos estimados por el modelo y los observados en campo, se obtuvieron los registros mensuales disponibles, caudales y sedimentos en suspensión, observados en la estación hidrométrica San Bernardo (Clave CONAGUA: 09067 ) a través del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS, CONAGUA, 2008).

El periodo más completo para alimentar el modelo, común a las estaciones climatológicas del CFSR y las hidrométricas de CONAGUA, fue de 1979 a 1999 para escurrimientos y de 1983 a 1999 para sedimentos. De este periodo, los primeros cuatro años se utilizaron como entrenamiento para estabilizar el contenido inicial de humedad de los suelos en la cuenca.

El desempeño del modelo, para calibrar y validar el sistema hidrológico, se evaluó a través del coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe; ampliamente utilizado para evaluar el poder predictivo de los modelos hidrológicos (Moriasi *et al.*, 2015) y el estadístico  $r^2$  (Krause *et al.*, 2005). Este coeficiente varía desde  $-\infty$  hasta 1, donde una eficiencia de 1 (NS=1) corresponde a un perfecto ajuste entre los datos del modelo y los observados, mientras que el estadístico  $r^2$  puede variar de 0 a 1, donde 0 indica que no hay correlación y 1 representa una correlación perfecta.

**Escurrecimientos.** En primer medida se realizó una calibración manual para ajustar de manera general la escorrentía superficial y flujo base como lo recomienda (Uribe N., Quintero M. & Valencia J., 2013). Para el ajuste de flujo base, se obtuvo el factor Alpha\_BF (0.0414) y GW\_Delay (55.49) mediante el programa Base Flow Filter (desarrollado por Arnold *et al.* (1995) y modificado por Arnold y Allen (1999)).

Con la finalidad de facilitar el proceso y mejorar las estadísticas obtenidas en la calibración manual, se llevó a cabo una calibración semi-automatizada empleando el programa SWAT CUP 2012 (versión 5.1.6) (Arnold, Moriasi, *et al.*, 2012). Para ello, se realizó una parametrización, análisis de sensibilidad y calibración del modelo mediante la técnica de ajuste de incertidumbre secuencial SUFI-2. Este análisis de sensibilidad determina la tasa de cambio en la salida del modelo con respecto a los cambios en los parámetros de entrada (Arnold *et al.*, 2012).

El primer paso consistió en definir como función objetivo el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y el coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe (NSE), utilizados como criterios estadísticos para evaluar la eficiencia del modelo. En este estudio, se utilizó como valor mínimo (umbral para las soluciones de comportamiento) 0.5. Posteriormente se seleccionaron 8 parámetros a optimizar y se establecieron los rangos mínimos y máximos absolutos físicamente significativos dentro de lo recomendado (variaciones de  $\pm 20\%$ ) (Arnold, Moriasi, *et al.*, 2012). Se escogió un número de 2,000 iteraciones.

**Sedimentos.** Para la calibración de sedimentos se empleó el mismo método de auto calibración (técnica de ajuste de incertidumbre secuencial SUFI-2) utilizado para calibrar el flujo superficial. La configuración fue similar a excepción de la definición de los parámetros donde solo se seleccionaron tres. La calibración del modelo se realizó modificando principalmente los parámetros relacionados con las características del acuífero y del agua subterránea. Se consideró una densidad media de  $1.8 \text{ t m}^{-3}$  para sedimentos en suspensión.

**Validación.** Tomando los parámetros obtenidos en la calibración se procedió a validar los escurrimientos y sedimentos frente a la información observada. El periodo empleado para la validación de escurrimientos fue de 1984-1999 y de 1983-1989 para sedimentos.

**Priorización de localidades.** Para la priorización de las localidades de la cuenca del río Mayo se utilizó, a nivel URH, el costo ecológico, el cual relaciona la erosión hídrica y la biomasa producida (t de pérdida de suelo/t de biomasa). Para obtener el promedio del costo ecológico a nivel localidad se empleó un radio de 1.5 km de cada núcleo poblacional. A partir de este y del número de habitantes se priorizaron 15 localidades de las 349 que componen la cuenca del río Mayo.

### 3 RESULTADOS

#### Calibración y validación de escurrimientos

Se considera que un modelo se calibró y validó con éxito cuando replica datos observados dentro de un nivel adecuado de precisión (James & Burges, 1982; Konikow & Bredehoeft, 1992; Moriasi *et al.*, 2015).

**Análisis de sensibilidad de parámetros.** El análisis de sensibilidad consistió en determinar que tanto se ven afectadas las eficiencias del modelo al aplicar variaciones de  $\pm 20\%$  de los parámetros seleccionados. Los parámetros más sensibles registrados después del análisis de sensibilidad para la calibración mensual en SUFI-2 fueron: Cn2.mgt, Alpha\_Bf.gw, Gw\_Delay.gw, Gwqmn.gw, Gw\_Revap.gw, Esco.hru, Ch\_N2.rte.

**Calibración de escurrimientos.** En la Figura 2 se muestra el comportamiento de los caudales simulados y observados durante el periodo de calibración después de ajustar los parámetros obtenidos con SWAT-CUP. Se observó que existe un mejor ajuste en la simulación del flujo base con respecto al flujo superficial, puesto que en varios años se presenta una sobreestimación del caudal y es aún más notorio en agosto de 1986 con un 71.2% de diferencia. Esto se puede atribuir a las fuertes lluvias ocasionadas por el impacto del huracán Newton en el océano Pacífico; puesto que SWAT al momento de simular, no toma en cuenta la ocurrencia de eventos naturales extremos (Arnold & Fohrer, 2005).

Sin embargo al obtener la relación lineal entre los caudales observados (eje x) y los simulados (eje y), la pendiente de la recta (0.92) indica que el modelo, de manera global, tiende a subestimar los caudales.

En general, se observó que los valores mensuales de caudal simulado y observado presentan buena correlación. Con un  $r^2$  de 0.73 y un NSE de 0.76 el ajuste se considera como muy bueno de acuerdo con los rangos de evaluación propuestos por Moriasi *et al.* (2007).



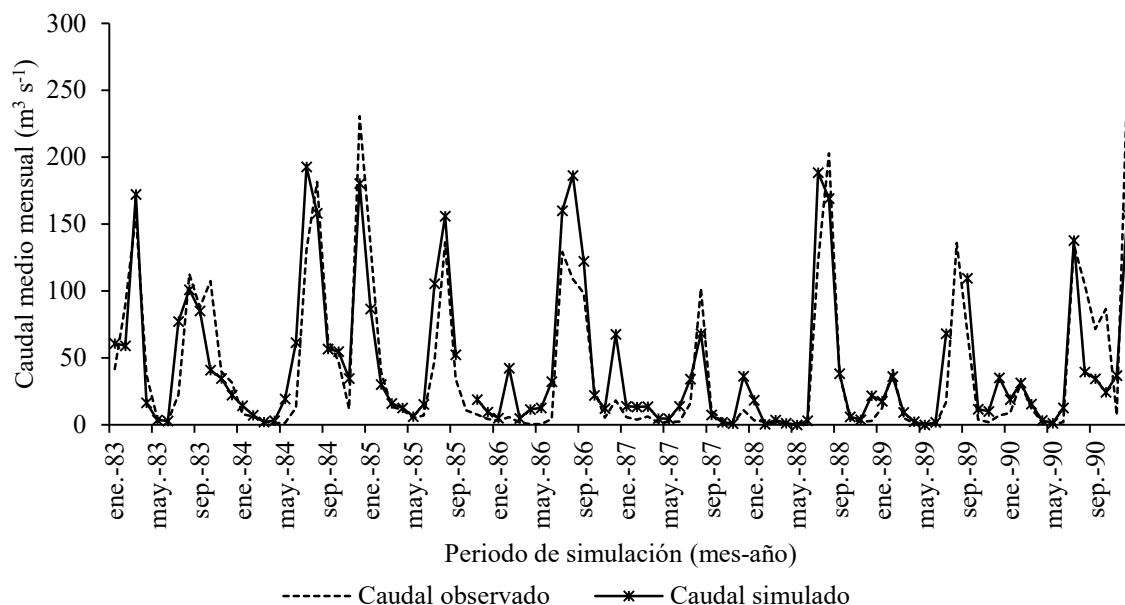


Figura 2. Caudal medio mensual simulado por SWAT y observado de la cuenca del río Mayo, durante la calibración.

**Validación de escurrimientos.** Al examinar el comportamiento del flujo simulado y observado de caudales durante el periodo de validación (1991-1999) (0), se encontró que en la mayoría de los años (1991, 1992, 1995-1998) para los meses de agosto y septiembre, el modelo tendió a subestimar el flujo.

Esto puede deberse al uso de estaciones climáticas virtuales empleadas para alimentar el modelo, las cuales al ser generados a través de diferentes métodos estadísticos y datos satelitales podrían considerarse una aproximación a lo real y afectar la precisión de los resultados.

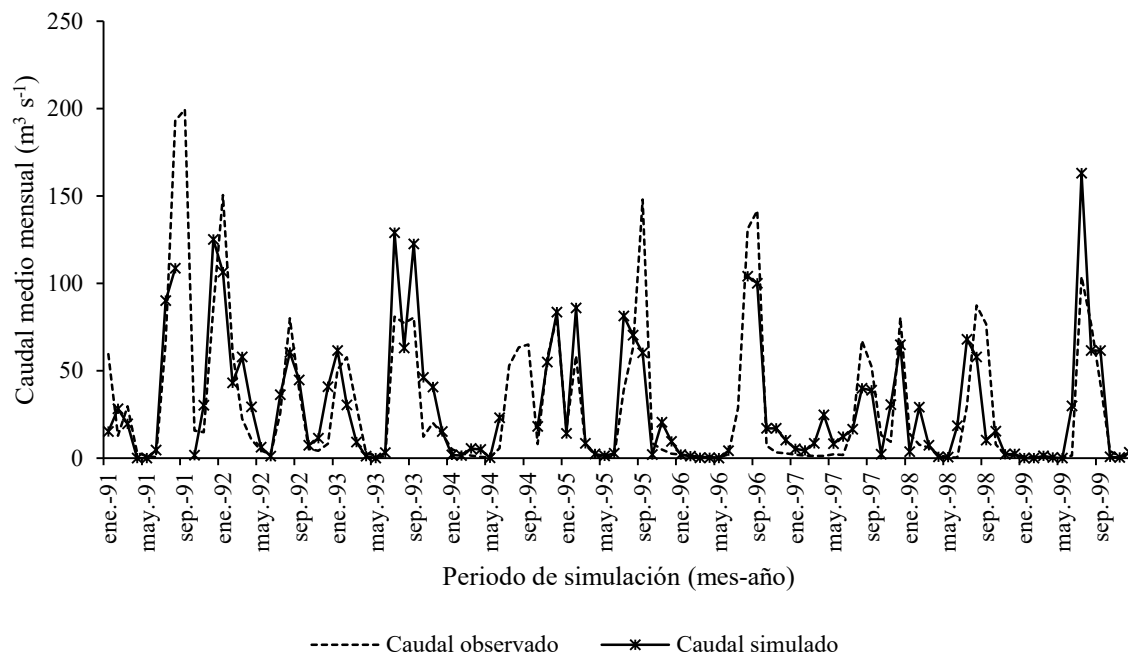


Figura 3. Caudal medio mensual simulado por SWAT y observado de la cuenca del río Mayo, durante la validación.

A pesar de lo anterior, de acuerdo al índice de Nash-Sutcliffe (0.68) y al coeficiente de determinación (0.64) la modelación se considera muy buena (Moriasi *et al.*, 2007).

### Calibración de sedimentos

**Análisis de sensibilidad de parámetros.** De este análisis se observó que tres parámetros que tienen influencia en la variable de producción de sedimentos: Sol\_Awc.sol, Sol\_K.sol y Slsbbsn.hru. El mejor resultado de esta calibración determinó un factor p (porcentaje de observaciones cubiertas por la 95PPU) de 0.3709 y el de r de -0.9559, lo que indica un bajo por ciento de las observaciones dentro de los límites de incertidumbre del modelo (Moriasi *et al.*, 2007; Molnar., 2011).

**Calibración.** En la 0 se muestra el comportamiento que presenta a lo largo del periodo de calibración el flujo de sedimentos simulado y observado después de ajustar los valores de los parámetros más sensibles. Se encontró una clara tendencia del modelo a subestimar el comportamiento de flujo en todo el periodo.

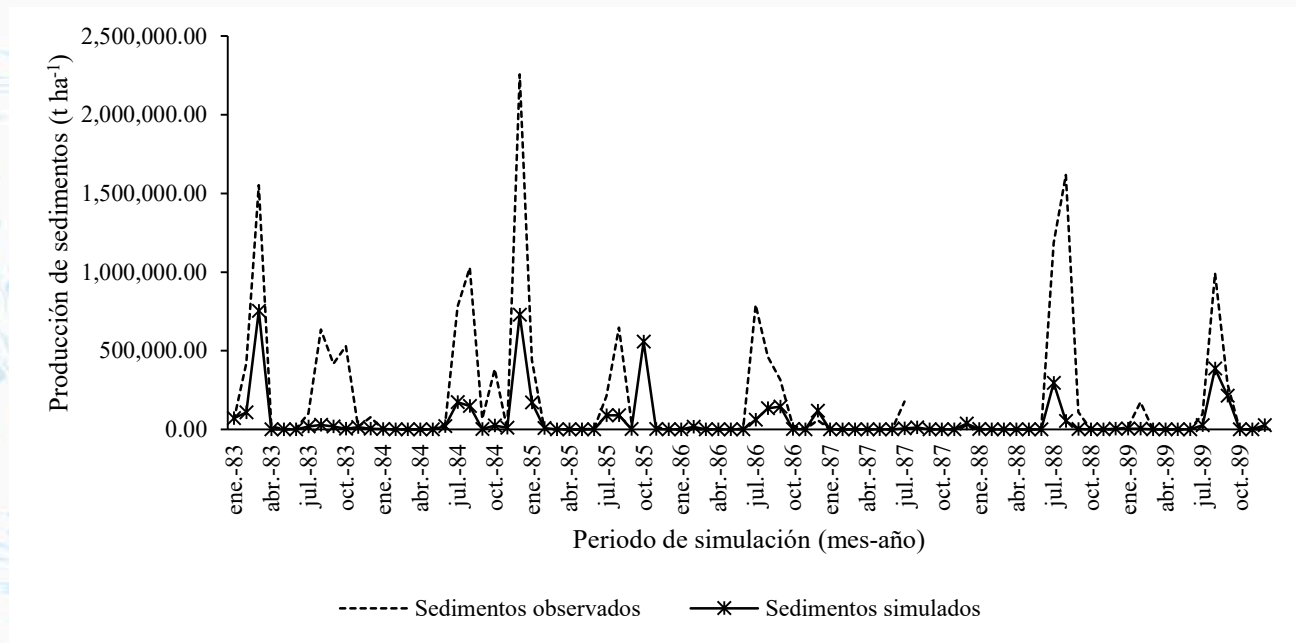


Figura 4. Caudal medio mensual simulado y observado durante la etapa de calibración de la cuenca del río Mayo.

Los resultados mostraron que al simular sedimentos, el modelo mostró una mayor presencia de incertidumbre en todo el periodo. Y fue de mayor magnitud en condiciones de alta precipitación que durante la estación seca.

De acuerdo a Orband *et al.* (2013) y Behrends *et al.* (2011) la gran diferencia entre los valores observados y simulados puede obedecer a la mala calidad de los datos aforados y a un pobre desempeño del modelo al momento de simular durante el periodo de lluvias durante la calibración de escurrimientos. Aun así al evaluar los sedimentos observados versus los simulados de acuerdo con los estándares NSE y  $r^2$ , el modelo realiza simulaciones con una capacidad satisfactoria.

### Priorización de localidades

En el 0 se muestran para cuatro niveles de degradación el porcentaje de localidades que pertenecen a cada rango. En general se observa que, los municipios con mayor cantidad de localidades con problemas de degradación son: Uruachi (59 localidades), Moris (34 localidades) y Chinipas (16 localidades) al tener un costo ecológico mayor de 10 t/t.



Cuadro 1. Clasificación de las localidades a nivel municipio con base en su nivel de degradación en la cuenca del Río Mayo.

Municipio	Nivel de degradación* (t/t)				% Total	Localidades
	< 10	10-20	20-50	> 50		
	Número de localidades (%)					
Chínipas	0	0	4.3	0.29	4.58	16
Guerrero	0.29	0	0	0	0.29	1
Moris	21.49	3.44	4.01	2.29	31.23	109
Ocampo	24.36	0	0	0	24.36	85
Temósachic	0.29	0	0	0	0.29	1
Uruachi	22.35	7.45	9.17	0.29	39.26	137
Porcentaje	23.50	27.22	26.65	22.64	100	349
Localidades	240	38	61	10		349

\*Costo ecológico

En el Cuadro 2 se muestran las 15 localidades que presentan mayor degradación (costo ecológico y erosión) ubicadas dentro de tres municipios: Moris (7), Chínipas (5) y Uruachi (3). Moris es el municipio que presenta en promedio mayor impacto ecológico con un 63.5 t/t.

Cuadro 2. Localidades prioritarias con mayor nivel de degradación en la cuenca del río Mayo.

No.	ESTADO	MUNICIPIO	LOCALIDAD	# DE HAB.	LONGITUD	LATITUD	PRECIP (mm)	IMPACTO ECOLOGICO (t/t)	EROSIÓN (t/ha)
1	Chihuahua	Moris	Los Alamillos	57	-109.010278	28.051389	582.44	78.87	93.58
2	Chihuahua	Moris	Mesa Colorada	83	-109.003333	28.113056	582.44	70.86	91.15
3	Chihuahua	Moris	Mesa de Enmedio	11	-109.035	28.046667	582.44	70.62	70.95
4	Chihuahua	Moris	Dos Hermanos	15	-108.971111	28.063333	582.44	61.59	71.69
5	Chihuahua	Moris	Bellavista	12	-108.964167	28.069167	582.44	61.59	71.69
6	Chihuahua	Moris	Plan Oriente	18	-109.034444	28.070278	582.44	59.12	76.29
7	Chihuahua	Chínipas	Satevó	14	-108.633333	27.603611	565.34	50.12	60.05
8	Chihuahua	Chínipas	Huicorichic (Huicorichi)	22	-108.655	27.761944	565.34	43.29	52.79
9	Chihuahua	Moris	Sierra oscura (El Serruchito)	137	-108.956667	28.009444	582.44	42.13	49.32
10	Chihuahua	Uruachi	El Rebaje	235	-108.942222	28.038889	582.44	40.83	57.45
11	Chihuahua	Uruachi	San Fernando	15	-108.7225	27.742222	565.34	40.81	50.06
12	Chihuahua	Uruachi	La Barranca	51	-108.6175	27.951944	558.29	40.75	46.23
13	Chihuahua	Chínipas	El Triguito	36	-108.631944	27.719444	565.34	40.53	53.36
14	Chihuahua	Chínipas	Los Llanitos	38	-108.563056	27.741944	565.34	40.39	64.81
15	Chihuahua	Chínipas	Los Alamillos de Loreto	38	-108.561667	27.784444	565.34	38.64	47.07

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La interfaz ArcSWAT del modelo SWAT se utilizó con éxito para analizar las características hidrológicas del área de la cuenca del río Mayo. La calibración y la validación mediante el método semi-automático SUFI-2 y manual

combinado tuvieron buenos resultados al minimizar las diferencias entre los datos observados y simulados, además de reducir significativamente el tiempo total empleado.

Este estudio muestra que el modelo SWAT puede ser potencial herramienta de monitoreo especialmente para cuencas hidrológicas similares a la de estudio y ayudar a generar predicciones y evaluaciones del balance hídrico e impacto del cambio del uso del suelo.

Aunque el modelo, de manera global haya mostrado un buen desempeño, cabe aclarar que subestima los caudales y sedimentos picos en época de crecidas

## 5. AGRADECIMIENTOS

A la WWF (World Wildlife Fund) por el financiamiento del presente trabajo a través del convenio PI76 Tarahumara Sustentable.

## 6. LITERATURA CITADA

- Abbaspour, K. C. (2014). SWAT-CUP 2012: SWAT Calibration and Uncertainty Programs. A user manual (p. 31).
- Arnold, J. G., & Allen, P. M. (1999). Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 35(2), 411-424.
- Abarca O. y M. A. Bernabé Poveda . (2010). Estimación de la capacidad de uso de las tierras en el estado Aragua, Venezuela, mediante regresión logística multinomial. Agron. Trop. 60: 397-413.
- Arnold, J. G., Allen, P. M., Muttiah, R., & Bernhardt, G. (1995). Automated base flow separation and recession analysis techniques. Groundwater, 33(6), 1010-1018.
- Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., Williams, J. R., Haney, E. B., & Neitsch, S. L. (2012). Input/Output Documentation Soil & Water Assessment Tool.
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, M. ., White, M. J., Srinivasan, R., Jha, M. K. (2012). Swat: model use, calibration and validation. Transactions of the ASABE, 55(4), 1491–1508.
- Biesbroek, G. R., Swart, R. J., & van der Knaap, W. G. M. (2009). The mitigation-adaptation dichotomy and the role of spatial planning. Habitat International, 33(3), 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.001>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2017. 2010 Land Cover of North America at 30 meters. Ed. 1.0. Mexico City, México. <http://www.cec.org/tools-and-resources/north-american-environmental-atlas/land-cover-and-land-coverchange>. (Consultado: 30/11/2017).
- CONAGUA (2008). Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales. Consultado abril de 2017. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>.
- Moriasi, D. N., Wilson, B. N., Douglas-Mankin, K. R., Arnold, J. G. & P. H. Gowda. (2012). Hydrologic and Water Quality Models: Use, Calibration, and Validation. Transactions of the ASABE, 55(4), 1241–1247. <https://doi.org/10.13031/2013.42265>
- Daggupati, P., Pai, N., Ale, S., Zeckoski, R. W., Jeong, J., Parajuli, P. B. Youssef, M. A. (2015). A Recommended Calibration and Validation Strategy for Hydrologic and Water Quality Models. Transactions of the ASABE, 58(6), 1705–1719. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10712>
- Duru, U., Arabi, M., & Wohl, E. E. (2017). Modeling stream flow and sediment yield using the SWAT model: a case study of Ankara River basin, Turkey. Physical Geography, 39(3), 264–289. <https://doi.org/10.1080/02723646.2017.1342199>
- Lagacherie, P. 2008. Digital soil mapping: A state of the art. pp. 3-14. In: A. E. Hartemink, A. McBratney, and M. L. Mendonca Santos. Digital soil mapping with limited data. Springer. Dordrecht, Netherlands.
- McBratney, A. B., Odeh I.O., Bishop T.F., Dunbar M.S., Shatar T.M. 2000. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. Geoderma, 97: 293-327.
- Mintegui Aguirre, J. A., & Robredo Sánchez, J. C. (1994). Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos. Ingeniería del Agua, 1(2), 69–82. Recuperado de <http://ojs.upv.es/index.php/IA/article/download/2637/2620>
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). Theoretical documentation SWAT.
- Schuol, J., Abbaspour, K. C., Yang, H., Srinivasan, R., & Zehnder, A. J. B. (2008). Modeling blue and green water availability in Africa. Water Resources Research, 44(7), 1–18. <https://doi.org/10.1029/2007WR006609>



- Tripathi, M. P., Panda, R. K., & Raghuwanshi, N. S. (2003). Identification and prioritisation of critical sub-watersheds for soil conservation management using the SWAT model. *Biosystems Engineering*, 85(3), 365–379. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00066-7)
- Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., & Arnold, J. G. (2007). The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE*, 50(4), 1211-1250.
- Refsgaard, J. C. (1997). Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models. *Journal of hydrology*, 198(1-4), 69-97.
- INEGI. 2017. Relieve continental. Modelo digital de elevación tipo superficie con 30 m de resolución. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/default.html#Descargas>
- Van Zijl, G. M., D. Bouwer D., J. J. van Tol, and P. A. L. le Roux. 2014. Functional digital soil mapping: A case study from Namarroi, Mozambique. *Geoderma* 219-220: 155-161.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied engineering in agriculture*, 1(2), 96-99.
- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. In *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill. New York, USA
- Krause, P., Boyle, D. P., & Bäse, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in geosciences*, 5, 89-97.
- Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763-1785.
- Uribe, N., Quintero, M., & Valencia, J. (2013). Aplicación del Modelo Hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) a la Cuenca del Río Cañete (SWAT).
- James, L. D., & Burges, S. J. (1982). Selection, calibration, and testing of hydrologic models. *Hydrologic testing of small watersheds*, C.T. Haan, H. P. Johnson, and D. L. Brakensiek, eds., American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich., 435 – 472.
- Konikow, L. F., & Bredehoeft, J. D. (1992). Ground-water models cannot be validated. *Advances in water resources*, 15(1), 75-83.
- Arnold, J. G., & Fohrer, N. (2005). SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(3), 563-572.
- Molnar, P. (2011). Calibration. *Watershed Modelling*, SS 2011. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich, Switzerland.

## ID-256: ANÁLISIS DE REDES DE POLÍTICA PÚBLICA COMO HERRAMIENTA EN LA GESTIÓN DEL AGUA PARA AGRICULTURA

*José Rodolfo de la Garza González<sup>a\*</sup>, Jaime Castro Campos<sup>a</sup>, María de la Luz Valderrábano Almegua<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, Calle 30 de Junio de 1520 s/n, Barrio la Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, 07340, email: [josedelagarzag@gmail.com](mailto:josedelagarzag@gmail.com)

### RESUMEN

Las zonas áridas cubren gran parte de la superficie de México, y una de las consecuencias que esta característica conlleva es el limitado acceso al agua para actividades primarias, como agricultura y ganadería, en poblaciones rurales. En respuesta a esta problemática se han desarrollado políticas públicas para el uso sostenible de recursos naturales, que destinan inversiones importantes al diseño y el establecimiento de estructuras para la captación de agua y la conservación de suelo en poblaciones marginadas. Sin embargo, diversos factores restringen la eficiencia de dichas políticas, impidiendo el logro de los objetivos planteados. El funcionamiento de la red de actores de las políticas públicas se reconoce como uno de estos factores. El Proyecto Estratégico Construcción de Pequeñas Obras Hidráulicas (POH), operado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) por medio de la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA), correspondió a una política pública para el uso sostenible de agua y suelo en actividades agropecuarias. A través del Análisis de Redes de Políticas Públicas, este trabajo analiza la operación del POH en Querétaro durante el ejercicio 2011 para detectar y caracterizar conflictos que afectan la eficiencia del proyecto, y proponer estrategias y mecanismos que mitiguen sus efectos negativos. Los resultados demuestran que los conflictos surgidos de la estructura de actores del POH afectaron seriamente su eficiencia en las tres localidades muestreadas: Adjuntas de los Guillén, El Portugués, y El Lindero. Finalmente, se propusieron acciones para mejorar la eficiencia en la política pública estudiada con base en la caracterización de los conflictos identificados a partir del análisis de la red de actores.

**Palabras clave:** Análisis de redes de políticas públicas, recursos naturales, agricultura, sostenibilidad.

### 1 INTRODUCCIÓN

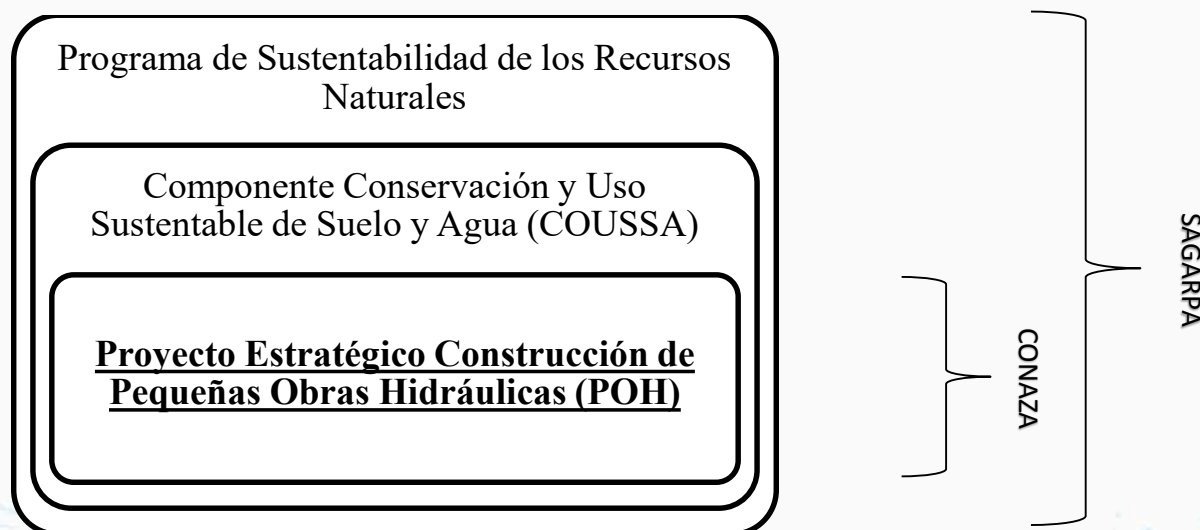
Este trabajo orienta su atención en la dimensión social de la gestión del agua para actividades agropecuarias en localidades marginadas. Específicamente, se estudia la estructura social, en términos de la red de actores, del Proyecto Estratégico Construcción de Pequeñas Obras Hidráulicas (POH) en tres localidades de Querétaro, México, para el ejercicio 2011.

El POH formó parte de la agenda programática del Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012. Se encuentra integrado en el Componente Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA) del Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales, perteneciente a los programas sujetos a Reglas de Operación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

El propósito principal del POH, compartido con las demás modalidades del COUSSA a excepción de COUSSA-PESA, es “*promover de manera integral el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales suelo, agua y vegetación, utilizados en las actividades agropecuarias.*” Por otro lado, su propósito particular es “*atender la necesidad de pequeña infraestructura de captación y almacenamiento de agua en regiones identificadas por la Instancia Ejecutora, y de manera paralela, generar una fuente de empleo para la mano de obra local.*” (CONAZA, 2015).

Para la operación del POH se designó a la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA) como la Instancia Ejecutora (ver **Figura 1**).





**Figura 1.** Localización del Proyecto Estratégico Construcción de Pequeñas Obras Hidráulicas con respecto al Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales.

*Fuente: Elaboración propia con información de las Reglas de Operación de los Programas de la SAGARPA del ejercicio 2011 (SAGARPA, 2011).*

De acuerdo con el informe para el Componente Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA) de la Evaluación Nacional de Resultados 2013 desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015), la eficiencia del Proyecto Estratégico Construcción de Pequeñas Obras Hidráulicas se ve afectada debido a la falta de coordinación interinstitucional, la escasa participación social, y la desorganización de los beneficiarios, entre otras causas. Este trabajo emplea el Análisis de Redes de Políticas Públicas como un instrumento para la modelación de la dinámica social de la política pública, representada por el POH, para verificar las debilidades mencionadas en el informe y proponer, de acuerdo con las observaciones obtenidas, las estrategias para mejorar la eficiencia del proyecto.

La hipótesis que se plantea para el estudio es que el análisis de la dimensión social, representada como la red de actores para el enfoque de este trabajo, permite proponer estrategias para mejorar la eficiencia en las políticas públicas desarrolladas en el contexto de cuencas, pues se promueve la gobernanza y se monitorea el flujo de información y el flujo de recursos de manera oportuna a través de los indicadores que el Análisis de Redes de Políticas Públicas ofrece.

A su vez, se considera de importancia el aumento de la eficiencia del POH, o sus equivalentes posteriores, debido a la influencia que se ejerce sobre los siguientes criterios:

**Condiciones de la población rural (población objetivo del proyecto).** Según el Banco Mundial, la población rural en México en el año 2017 ascendía a 20.216%, de la cual, el 62.4% se encuentra en situación de pobreza [The World Bank, *Rural population (% of total population)* y *Rural poverty headcount ratio at national poverty lines (% of rural population)*]. Es decir, el logro de los objetivos del POH tendría un impacto positivo en la población rural del país.

**La escasez de agua y la degradación del suelo.** El 58% del territorio nacional se encuentra en zonas áridas (Oswald y Sánchez, 2011) y el 25.95% de la población rural nacional habita en zonas semiáridas (CONAFOR-UACH, 2013). En dichas condiciones, la producción agropecuaria se encuentra en desventaja cuando no se cuenta con los medios para acceder a fuentes de agua superficial o subterránea, como es el caso de las poblaciones marginadas. Dado que el POH comprende el establecimiento de infraestructura de almacenamiento de agua y preservación de suelos, el alcance de sus objetivos abona a mejorar el panorama del manejo del agua en el ámbito de la producción agropecuaria.

**Presencia de hábitos indeseados en el contexto nacional de las políticas públicas.** México es el país con el índice de corrupción más alto de la OCDE (Casar, 2015). El Análisis de Redes de Políticas Públicas permite el



monitoreo de los flujos de información y de recursos del POH, evitando la aparición de hábitos indeseados que deterioran la eficiencia de los programas presupuestarios.

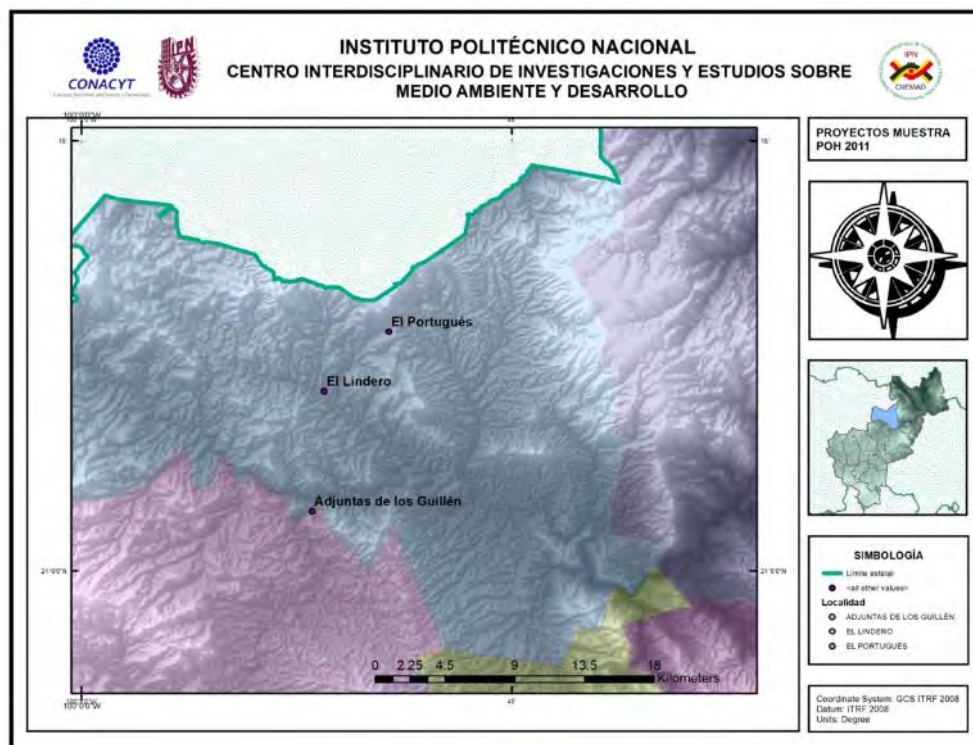
**Rendición de cuentas (Presupuesto basado en Resultados).** El monitoreo de los flujos de información y de recursos genera información de interés para la rendición de cuentas y para la comprobación de un buen uso del presupuesto.

**Aportación a los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.** Es posible alinear los propósitos general y particular del POH con los ODS 1, 2, 3 y 6. En específico, lograr los propósitos del POH aporta de manera estrecha a la meta 6.4 del ODS 6: Incrementar la eficiencia en el uso del agua en todos los sectores y asegurar la disponibilidad de agua fresca para enfrentar la escasez de agua (Department of Economics and Social Affairs of the United Nations, 2018).

Abundando a la pertinencia del presente trabajo, el Análisis de Redes de Políticas Públicas como herramienta de análisis y evaluación de políticas públicas ha sido también explorado en México. Porras (2001), Alarcón (2005), y Martínez (2010), lo han tratado desde una posición de descripción del método y sus fundamentos; mientras que de la Rosa, Cruz, y Porras (2016), Martínez (2010), Vázquez (2014), y Vargas, (2008 y 2011) han obtenido conclusiones con respecto a políticas públicas para diversos sectores a partir de la utilidad práctica del método.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde a El Lindero, El Portugués, y Adjuntas de Los Guillén, localidades del municipio de Peñamiller, en Querétaro (ver **Figura 2**), y que pertenecen a la Región Hidrográfica RH26 Pánuco. La cuenca en la que se encuentran las localidades es la del río Moctezuma, y la subcuenca es la del río Extoraz.



**Figura 2.** Ubicación de las localidades estudiadas.

*Fuente: Elaboración propia a partir de Conjuntos de datos vectoriales de información topográfica digital, por Entidad Federativa. Escala 1:250 000. Serie IV (INEGI, 2015), del Marco Geoestadístico de la República Mexicana (INEGI, 2016) y del Padrón de Beneficiarios POH 2011 (CONAZA, 2017).*



Como parte del diseño de la investigación, se propuso llevar a cabo las siguientes fases:

**a) Revisión de la normatividad del Proyecto Estratégico Construcción de Pequeñas Obras Hidráulicas para el ejercicio 2011.** El objetivo es conocer las responsabilidades atribuidas a cada uno de los actores que participan en el POH a través de sus instrumentos normativos (Reglas de Operación, Lineamientos operativos, expedientes individuales) y así determinar, en la fase siguiente, la delimitación de los actores de la red.

**b) Análisis de Redes de Políticas Públicas.** Se consideran los siguientes pasos, propuestos por Porras (2001): i) delimitación de actores, a partir del análisis de los instrumentos normativos indicados en la fase previa; ii) dimensionamiento de la red, de acuerdo con el nivel de análisis requerido puede tratarse de un análisis global o uno posicional, en este caso se consideran ambos enfoques; iii) obtención de información, para el presente estudio se proponen cuestionarios y entrevistas semiestructuradas; iv) tratamiento de datos, a partir del arreglo de la información levantada en matrices a través de Excel y en matrices y gráficos mediante UCINET; v) análisis de datos, de acuerdo con los indicadores mencionados por Velázquez y Aguilar (2005) y el contexto del estudio.

**c) Muestreo.** Para cada una de las localidades seleccionadas para este trabajo se realizó un muestreo aleatorio estratificado de criterio proporcional, con los beneficiarios del POH por localidad como el criterio de proporción. El conjunto de datos de beneficiarios por localidad se obtuvo del Padrón de Beneficiarios POH 2011 (CONAZA, 2017).

La ecuación empleada para el cálculo del tamaño la muestra es la siguiente:

$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left( \frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N} \right)}$$

En donde:

N = tamaño de la población

e = margen de error (porcentaje expresado con decimales)

p = desviación estándar

z = puntuación z

La puntuación z se refiere a la cantidad de desviaciones estándar que una proporción determinada se aleja de la media y se selecciona de la **Tabla 1**, de acuerdo con el nivel de confianza requerido.

**Tabla 1.** Nivel de confianza para puntuaciones z.

Nivel de confianza	Puntuación Z
80%	1.28
85%	1.44
90%	1.65
95%	1.96
99%	2.58

*Fuente: Survey monkey, sample size calculator.*

De acuerdo con los criterios descritos, la muestra obtenida para el estudio resulta ser de 12 personas en El Lindero, 14 personas en El Portugués, y 28 en Adjuntas de los Guillén. En total, la muestra considera la participación de 54 personas, como se puede observar en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Tamaño de muestra considerando los criterios del estudio.

Municipio	Localidad	Beneficiarios	Muestra
Peñamiller	El Lindero	37	12
Peñamiller	El Portugués	42	14

Municipio	Localidad	Beneficiarios	Muestra
Peñamiller	Adjuntas de los Guillén	87	28
Total		166	54

*Fuente: Elaboración propia con datos del Padrón de Beneficiarios POH 2011 (CONAZA,2017).*

**d) Diseño del instrumento para levantamiento de información en campo.** El instrumento para levantamiento de información en campo es un cuestionario de 56 reactivos dirigido a los beneficiarios del POH en Querétaro en el ejercicio 2011 que forman parte de la muestra. Adicionalmente, se tiene contemplada la visita a las obras proyectadas para cada localidad.

**e) Tratamiento de datos con UCINET.** UCINET permite ordenar la información del cuestionario en matrices y en representaciones gráficas de las redes. Para operacionalizar las variables, se identifica a través de códigos a las distintas clases de actores (beneficiarios, CONAZA, municipio, contratista o PSP), para los cuales existen ciertas atribuciones y funciones dentro del POH. Los códigos se caracterizan a través de atributos descritos mediante matrices, de esta manera, cuando el software produce las representaciones gráficas de las redes, es posible observar los atributos y el comportamiento de cada uno de los nodos, y de la red en términos globales.

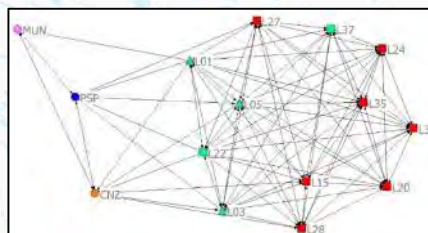
**f) Análisis de datos.** Las medidas de centralidad de interés para el estudio, a partir de las cuales se realiza el análisis, son: densidad, grado de centralidad, índice de centralización, grado de intermediación, y grado de cercanía, (Velázquez y Aguilar, 2005). UCINET ofrece herramientas para realizar el cálculo de los indicadores señalados. Una vez obtenidos los resultados, es posible identificar las debilidades en el funcionamiento y los agujeros estructurales de la red de actores.

**g) Propuesta de estrategias.** Considerando los hallazgos del análisis de datos, se establecen acciones para corregir el funcionamiento de la red para la política pública en cuestión.

### 3 RESULTADOS

El contraste entre la revisión de la normatividad y la observación de las obras en campo permitió identificar que las metas establecidas en los anteproyectos del POH en términos de captación de agua no fueron alcanzadas, pues las obras se encontraban inconclusas o sin funcionamiento. Por otro lado, pudo identificarse que no se desarrollaron las acciones de acuerdo con establecido en los lineamientos operativos existentes, se incluyeron actores que no se encontraban definidos, y el flujo de información y de recursos ocurrió de manera irregular.

Las representaciones gráficas de las redes se realizaron para interpretar distintos atributos; por ejemplo, la estructura de la red global del POH (**Figura 3**), el flujo de información a través de la red (**Figura 4**), y el flujo de los recursos (**Figura 5**).





En la **Tabla 3** se ordenan la Densidad y el Índice de centralización por localidad, como medidas de centralidad en la dimensión global de la red. El primero describe la conectividad de la red, calculando las relaciones existentes con respecto de las posibles; mientras que el segundo es una representación global del grado de centralidad de la totalidad de los nodos existentes en la red.

**Tabla 3.** Densidad e Índice de centralización por localidad.

Localidad	Densidad	Índice de centralización
El Lindero	0.724	5.10%
El Portugués	0.647	4.99%
Adjuntas de Los Guillén	0.467	3.49%

*Fuente: Elaboración propia a partir de la información levantada en campo y analizada en UCINET.*

Con respecto al grado de centralidad, que indica los nodos con mayores vínculos a partir de ellos (OutDegree) y hacia ellos (InDegree), se encontró, para los tres casos, una distinción clara en los valores obtenidos por cada una de las clases de actores de la red. Las construcciones sociales que requiere el POH en los lineamientos operativos, como los Comités Pro-proyecto, presentan un grado de centralidad elevado (**Figura 6, Figura 7, Figura 8**).

Degree Measures				
	1	2	3	4
	Outdeg	Indeg	nOutdeg	nIndeg
	g			
1 L01	14.000	11.000	1.000	0.786
2 L03	13.000	12.000	0.929	0.857
3 L05	13.000	12.000	0.929	0.857
4 L15	11.000	12.000	0.786	0.857
5 L20	11.000	11.000	0.786	0.786
6 L22	13.000	11.000	0.929	0.786
7 L24	11.000	11.000	0.786	0.786
8 L27	11.000	12.000	0.786	0.857
9 L28	11.000	12.000	0.786	0.857
10 L33	11.000	11.000	0.786	0.786
11 L35	11.000	11.000	0.786	0.786
12 L37	11.000	11.000	0.786	0.786
13 CNZ	5.000	6.000	0.357	0.429
14 PSP	4.000	6.000	0.286	0.429
15 MUN	2.000	3.000	0.143	0.214

**Figura 6.** Grado de centralidad, El Lindero.

*Fuente: Elaboración propia a partir de la información levantada en campo y analizada en UCINET.*

Degree Measures				
	1	2	3	4
	Outdeg	Indeg	nOutdeg	nIndeg
	g			
1 P02	13.000	15.000	0.813	0.938
2 P07	13.000	13.000	0.813	0.813
3 P10	12.000	12.000	0.750	0.750
4 P13	12.000	12.000	0.750	0.750
5 P14	12.000	12.000	0.750	0.750
6 P19	14.000	13.000	0.875	0.813
7 P23	12.000	13.000	0.750	0.813
8 P26	12.000	12.000	0.750	0.750
9 P27	0.000	0.000	0.000	0.000
10 P34	12.000	12.000	0.750	0.750
11 P35	12.000	13.000	0.750	0.813
12 P36	12.000	12.000	0.750	0.750
13 P37	14.000	12.000	0.875	0.750
14 P40	12.000	13.000	0.750	0.813
15 CNZ	6.000	4.000	0.375	0.250
16 PSP	4.000	6.000	0.250	0.375
17 MUN	4.000	2.000	0.250	0.125

**Figura 7.** Grado de centralidad, El Portugués.

*Fuente: Elaboración propia a partir de la información levantada en campo y analizada en UCINET.*

Degree Measures				
	1	2	3	4
	Outdeg	Indeg	nOutdeg	nIndeg
	g			
1 ADEL	2.000	11.000	0.118	0.647
2 AGPE	13.000	13.000	0.765	0.765
3 AJGL	9.000	11.000	0.529	0.647
4 A01	11.000	5.000	0.647	0.294
5 A07	11.000	12.000	0.647	0.706
6 A08	8.000	10.000	0.471	0.588
7 A38	0.000	0.000	0.000	0.000
8 A40	11.000	10.000	0.647	0.588
9 A41	0.000	0.000	0.000	0.000
10 A42	0.000	0.000	0.000	0.000
11 A53	11.000	11.000	0.647	0.647
12 A56	9.000	10.000	0.529	0.588
13 A59	12.000	9.000	0.706	0.529
14 A67	13.000	13.000	0.765	0.765
15 A68	11.000	12.000	0.647	0.706
16 CNZ	7.000	4.000	0.412	0.235
17 PSP	8.000	8.000	0.471	0.471
18 MUN	7.000	4.000	0.412	0.235

**Figura 8.** Grado de centralidad, Adjuntas de los Guillén.

*Fuente: Elaboración propia a partir de la información levantada en campo y analizada en UCINET.*

El grado de intermediación permite identificar a los actores clave y los flujos a través de la representación de la aparición de cada nodo en el camino geodésico de otros. Nuevamente se observan los valores más elevados en los nodos que corresponden a los actores miembros del Comité Pro-proyecto.

Un-normalized centralization: 130.000			
	1	2	
	Betweenness	nBetweenness	
1 L01	13.000	7.143	
3 L05	9.900	5.440	
13 CNZ	9.200	5.055	
2 L03	8.233	4.524	
14 PSP	6.300	3.462	
8 L27	5.900	3.242	
4 L15	4.233	2.326	
9 L28	4.233	2.326	
6 L22	4.000	2.198	
5 L20	0.000	0.000	
11 L35	0.000	0.000	
12 L37	0.000	0.000	
10 L33	0.000	0.000	
7 L24	0.000	0.000	
15 MUN	0.000	0.000	

**Figura 9.** Grado de intermediación, El Lindero.

*Fuente: Elaboración propia a partir de la información levantada en campo y analizada en UCINET.*

Un-normalized centralization: 191.633			
	1	2	
	Betweenness	nBetweenness	
1 P02	15.567	6.486	
6 P19	15.250	6.354	
13 P37	10.417	4.340	
16 PSP	10.200	4.250	
2 P07	8.583	3.576	
15 CNZ	6.000	2.500	
11 P35	2.150	0.896	
14 P40	2.150	0.896	
7 P23	2.150	0.896	
17 MUN	0.533	0.222	
4 P13	0.000	0.000	
12 P36	0.000	0.000	
5 P14	0.000	0.000	
10 P34	0.000	0.000	
3 P10	0.000	0.000	
8 P26	0.000	0.000	
9 P27	0.000	0.000	

**Figura 10.** Grado de intermediación, El Portugués.

*Fuente: Elaboración propia a partir de la información levantada en campo y analizada en UCINET.*

Un-normalized centralization: 161.572			
	1	2	
	Betweenness	nBetweenness	
14 A67	12.865	4.730	
2 AGPE	11.615	4.270	
17 PSP	9.498	3.492	
18 MUN	6.656	2.447	
1 ADEL	5.267	1.936	
13 A59	5.037	1.852	
5 A07	4.939	1.816	
15 A68	3.864	1.420	
11 A53	2.787	1.025	
8 A40	2.143	0.788	
4 A01	1.502	0.552	
3 AJGL	1.478	0.543	
16 CNZ	1.273	0.468	
12 A56	1.076	0.396	
10 A42	0.000	0.000	
7 A38	0.000	0.000	
6 A08	0.000	0.000	
9 A41	0.000	0.000	

**Figura 11.** Grado de intermediación, Adjuntas de los Guillén.

*Fuente: Elaboración propia a partir de la información levantada en campo y analizada en UCINET.*

El grado de cercanía representa la capacidad de cada nodo para llegar a todos los actores de la red del POH. En el estudio, los resultados muestran que existen valores de cercanía mayores entre los beneficiarios que en las demás clases de actores analizados (**Figura 12**, **Figura 13**, y **Figura 14**).

	1	2	3	4	5	6
	OutCl	InCl	OutVa	InVal	OutRe	InRec
	ose	se	lClo	Clo	cipCl	ipClo
1 L01	1.000	0.778	1.000	0.905	1.000	0.881
2 L03	0.933	0.875	0.976	0.952	0.964	0.929
3 L05	0.933	0.875	0.976	0.952	0.964	0.929
4 L15	0.824	0.875	0.929	0.952	0.893	0.929
5 L20	0.824	0.778	0.929	0.905	0.893	0.881
6 L22	0.933	0.778	0.976	0.905	0.964	0.881
7 L24	0.824	0.778	0.929	0.905	0.893	0.881
8 L27	0.824	0.875	0.929	0.952	0.893	0.929
9 L28	0.824	0.875	0.929	0.952	0.893	0.929
10 L33	0.824	0.778	0.929	0.905	0.893	0.881
11 L35	0.824	0.778	0.929	0.905	0.893	0.881
12 L37	0.824	0.778	0.929	0.905	0.893	0.881
13 CNZ	0.609	0.636	0.786	0.810	0.679	0.714
14 PSP	0.583	0.636	0.762	0.810	0.643	0.714
15 MUN	0.424	0.560	0.548	0.738	0.488	0.607

**Figura 12.** Grado de cercanía, El Lindero.

*Fuente: Elaboración propia a partir de la información levantada en campo y analizada en UCINET.*

	1	2	3	4	5	6
	OutCl	InCl	OutVa	InVal	OutRe	InRec
	ose	se	lClo	Clo	cipCl	ipClo
1 P02	0.762	0.842	0.930	0.938	0.875	0.938
2 P07	0.762	0.762	0.930	0.930	0.875	0.875
3 P10	0.696	0.727	0.923	0.926	0.833	0.844
4 P13	0.696	0.727	0.923	0.926	0.833	0.844
5 P14	0.696	0.727	0.923	0.926	0.833	0.844
6 P19	0.800	0.762	0.934	0.930	0.906	0.875
7 P23	0.696	0.762	0.923	0.930	0.833	0.875
8 P26	0.696	0.727	0.923	0.926	0.833	0.844
9 P27	0.250	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000
10 P34	0.696	0.727	0.923	0.926	0.833	0.844
11 P35	0.696	0.762	0.923	0.930	0.833	0.875
12 P36	0.696	0.727	0.923	0.926	0.833	0.844
13 P37	0.800	0.727	0.934	0.926	0.906	0.844
14 P40	0.696	0.762	0.923	0.930	0.833	0.875
15 CNZ	0.571	0.533	0.904	0.897	0.656	0.594
16 PSP	0.533	0.571	0.897	0.904	0.594	0.656
17 MUN	0.533	0.390	0.897	0.857	0.594	0.438

**Figura 13.** Grado de cercanía, El Portugués.

*Fuente: Elaboración propia a partir de la información levantada en campo y analizada en UCINET.*

	1	2	3	4	5	6
	OutCl	InCl	OutVa	InVal	OutRe	InRec
	ose	se	lClo	Clo	cipCl	ipClo
1 ADEL	0.415	0.586	0.775	0.814	0.441	0.735
2 AGPE	0.630	0.630	0.820	0.820	0.794	0.794
3 AJGL	0.548	0.586	0.807	0.814	0.676	0.735
4 A01	0.586	0.486	0.814	0.794	0.735	0.559
5 A07	0.586	0.607	0.814	0.817	0.735	0.765
6 A08	0.531	0.548	0.804	0.807	0.647	0.696
7 A38	0.250	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000
8 A40	0.586	0.548	0.814	0.807	0.735	0.696
9 A41	0.250	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000
10 A42	0.250	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000
11 A53	0.586	0.586	0.814	0.814	0.735	0.735
12 A56	0.548	0.548	0.807	0.807	0.676	0.696
13 A59	0.607	0.548	0.817	0.807	0.765	0.676
14 A67	0.630	0.630	0.820	0.820	0.794	0.794
15 A68	0.586	0.607	0.814	0.817	0.735	0.765
16 CNZ	0.515	0.472	0.801	0.791	0.618	0.529
17 PSP	0.531	0.531	0.804	0.804	0.647	0.647
18 MUN	0.515	0.472	0.801	0.791	0.618	0.529

**Figura 14.** Grado de cercanía, Adjuntas de los Guillén.

*Fuente: Elaboración propia a partir de la información levantada en campo y analizada en UCINET.*

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados de los indicadores del análisis de la red indican, en términos generales para las tres localidades estudiadas:

- **Densidad.** Existe alta interacción entre los actores en la representación de la red global del POH; sin embargo, en las representaciones de las redes de flujo de información y de recursos, algunos actores se encuentran aislados.



- **Grado de centralidad.** Se identifica a los Comités Pro-proyecto como actores clave. Durante el flujo de recursos, se obtienen valores elevados para la CONAZA, porque funge como emisor de los recursos financieros.
- **Grado de intermediación.** Es observado que los valores de intermediación son mayores para los beneficiarios que forman parte del Comité Pro-proyecto, debido a la necesidad de interactuar con otros beneficiarios y con los actores de otras clases.
- **Grado de cercanía.** Para la representación global de la red, el Comité Pro-proyecto obtiene los valores más elevados; sin embargo, en cuanto a la representación de los flujos de información y de recursos, es la CONAZA quien mantiene las puntuaciones más altas de cercanía.

Con respecto al análisis cualitativo de la información obtenida, los hallazgos son:

- Incumplimiento de los lineamientos de operación del POH.
- Poco interés de beneficiarios en el POH.
- Supervisión insuficiente de CONAZA, incluyendo aquella necesaria durante los reportes de avance de las obras.
- Falta de transparencia en montos y reportes de avance de parte del contratista.
- Obras no funcionales debido al uso de materiales no adecuados.

De acuerdo con los hallazgos, la estrategia para atender las áreas de mejora identificadas incluye:

- Realizar ejercicios de planeación participativa, con la integración, participación y seguimiento del sector académico, previos a la ejecución de las políticas públicas que compartan objetivos con el POH, con miras a ejercer la gobernanza.
- Llevar a cabo un análisis de la estructura institucional para garantizar su competencia técnica y de número de personal en las atribuciones que el proyecto o programa demande.
- Ejercer la rendición de cuentas de todos los actores de la red en cuanto a las obligaciones que hayan sido firmadas en el marco del proyecto o programa.
- Generación de capacidades del Comité Pro-proyecto a través de talleres y asesorías que les permitan conocer con claridad sus atribuciones dentro del proyecto o programa.

Adicionalmente, se requiere la realización de ejercicios de Análisis de Redes de Políticas Públicas en la agenda programática actual dirigida al manejo de cuencas, así como la integración de la perspectiva de los funcionarios y el personal operativo de los programas y proyectos en cuencas a dicho análisis, para generar conocimiento acerca del comportamiento de esta herramienta en un contexto más amplio.

Finalmente, puede concluirse que el Análisis de Redes de Políticas Públicas demostró ser una herramienta con elementos suficientes para representar el funcionamiento de las redes de políticas públicas en el contexto de cuencas, determinar áreas de mejora, y proponer estrategias para mejorar la eficiencia de la ejecución de las políticas públicas, además de generar información de incidencia en su planeación y evaluación.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la inversión derramada en mis estudios del programa de Maestría en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional, de donde surge este trabajo.



De igual manera, agradezco al Comité Tutorial que dirigió el rumbo del trabajo: M. en C. Jaime Castro Campos; M. en C. María de la Luz Valderrábano Almegua; Dra. María Marlene Acosta Jiménez; Dr. Pedro Lina Manjarrez y Dr. Adolfo Mejía Ponce de León.

## 6. LITERATURA CITADA

- Aguirre, J. L. 2011. Introducción al Análisis de Redes Sociales. *Documentos de Trabajo*, 82. Argentina: Centro Interdisciplinario para el Estudio de Políticas Públicas.
- Alarcón, V. 2005. Reseña de “Redes de Políticas Públicas” de Chaqués Bonafont, Laura. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, Vol. 47, No. 193. 219-223.
- Casar, M. 2015. México: Anatomía de la corrupción. México: Centro de Investigación y Docencia Económicas.
- CONAFOR-UACH. 2013. *Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final*. Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma Chapingo. Zapopan, Jalisco.
- CONAZA. 2015. *Proyecto Estratégico Construcción de Pequeñas Obras Hidráulicas*. En: <http://www.conaza.gob.mx/programas/Paginas/Construccion-Pequeñas-Obras-Hidraulicas-POH.aspx>. Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2016.
- CONAZA. 2017. *Padrón de Beneficiarios POH 2011*. En: <http://www.conaza.gob.mx/Paginas/Beneficiarios-Programas.aspx> Fecha de consulta: 2 de mayo de 2017.
- De la Rosa, B., Cruz, G., Porras, F. 2016. Redes de políticas, élites y gobernanza. Marco teórico para el estudio de un caso turístico. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural* Vol. 14, No. 3. 595-609.
- Department of Economics and Social Affairs of the United Nations. 2018. *Sustainable development goal 6*. Disponible en: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg6>. Fecha de consulta: 16 de mayo de 2018.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. *Conjuntos de datos vectoriales de información topográfica digital, por Entidad Federativa. Escala 1:250 000. Serie IV*. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. *Marco Geoestadístico de la República Mexicana 2016*. México.
- Martínez, D. 2010. *Redes de política pública y construcción de agenda de género en el legislativo mexicano (1997-2009)*. Tesis de maestría. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Académica de México.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Evaluación Nacional de Resultados 2013. Componente Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua*. México.
- Oswald, Ú. & Sánchez, I. 2011. Water Resources in Mexico: A Conceptual Introduction in *Water Resources in Mexico. Scarcity, Degradation, Stress, Conflicts, Management, and Policy. Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace*, Vol. 7. Londres: Springer.
- Porras, J. 2001. Policy Network o red de políticas públicas: Una introducción a su metodología de investigación. *Estudios Sociológicos*, Vol. XIX, No. 3. 721-745.
- SAGARPA. 2011. *Reglas de operación de los programas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación 2011*.
- The World Bank. *Rural poverty headcount ratio at national poverty lines (% of rural population)*. En: <http://data.worldbank.org/topic/poverty?locations=MX>. Fecha de consulta: 30 de abril de 2017.
- The World Bank. *Rural population (% of total population)*. En: <http://data.worldbank.org/indicator/SP.RUR.TOTL.ZS?locations=MX>. Fecha de consulta: 30 de abril de 2017.
- Vargas, S. 2008. Redes de políticas y cambio organizacional en la política forestal mexicana. *Gestión y Política Pública*, Vol. XVII No. 1. 101-144.
- Vargas, S. 2011. Evaluando la participación social: democracia y políticas públicas. *Revista Mexicana de Sociología*, Vol. 73, No. 1. 105-137.
- Vázquez, C. 2014. Gobernanza y redes de política pública: un estudio de la vinculación entre gobierno, actores público-sociales y privados en un área local turística. *Revista Mexicana de Análisis Político y Administración Pública*, Vol. III, No. 1. 147-178.
- Velázquez, O. y Aguilar, N. 2005. *Manual introductorio al análisis de redes sociales*. Centro de Capacitación y Evaluación para el Desarrollo Rural S.C. México.



## **ID-264: EL TRABAJO CON VISIÓN DE CUENCA UN CATALIZADOR PARA EL PRIMER PROTOCOLO PARA COMUNIDADES LOCALES EN MÉXICO.**

Tamara Guadalupe Osorno Sánchez <sup>a</sup>, Juan Alfredo Hernández Guerrero <sup>2a</sup>, Claudia Saray Ramos Barrios <sup>b</sup>, Liliana González Erives <sup>a</sup>, José Carlos Dorantes Castro <sup>a</sup>, Oscar y Ricardo García Rubio <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Querétaro, Campus UAQ-Aeropuerto, Carretera a Chichimequillas s/n, email: tamara.osorno@uaq.mx

<sup>b</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, Campus UNAM 3001, 76230 Juriquilla, Qro.

### **RESUMEN**

La Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro, lleva ocho años de intervención en la microcuenca La Joya. Los principales proyectos que se han llevado a cabo son la implementación de un proceso de formación de grupos de aprendizaje, mediante la aplicación de dos líneas de trabajo: la conservación y buen manejo de los componentes naturales de la microcuenca (suelo, agua y biodiversidad) y el uso apropiado y sustentable de los componentes naturales para el mejoramiento social y económico de los habitantes de la microcuenca. En 2018, como parte de un proceso de empoderamiento, se inició la elaboración de un Protocolo Comunitario Biocultural, de ejido Charape La Joya, perteneciente a la microcuenca La Joya. El Protocolo Comunitario Biocultural (PCB), es un instrumento que contienen las reglas acordadas sobre la organización comunitaria, autoridades y representantes, uso, manejo, conservación y protección de los recursos naturales, la biodiversidad y el conocimiento tradicional asociado; procedimientos para obtener el consentimiento de la comunidad, previo a la realización de ciertas actividades en su territorio, incluyendo su derecho a decidir si se requiere o no la realización de alguna actividad. Define las condiciones de contacto, de negociación y desarrollo de acuerdos con actores externos (evitando que éstas condiciones sean impuestas por éstos) en proyectos y decisiones que puedan afectar a la comunidad y sus recursos. Una vez que se obtuvo la autorización del ejido, se trabajó en elaboración un cuadernillo informativo; se hizo un diagnóstico basado en la metodología KAP (Conocimientos, Actitudes y Prácticas), con la aplicación de cuestionarios para generar información en tres rubros: a) Organización comunitaria y conocimiento tradicional en torno a los recursos naturales; b) Protocolo de Nagoya, vínculos institucionales y reconocimiento de experiencias y c) Toma de decisiones y organización en torno a los subsidios y el territorio. También se hicieron entrevistas a actores clave de la comunidad y a funcionarios de dependencias gubernamentales. Finalmente se llevó a cabo un diagnóstico participativo y varias reuniones de revisión con la comunidad. Al estar validado por la asamblea ejidal, este es el primer Protocolo para comunidades locales en México.

**Palabras clave:** Protocolo Comunitario Biocultural, Gestión Integrada de Cuenca, Territorio, Conocimiento Tradicional.

### **INTRODUCCIÓN**

Ante la creciente presión sobre los recursos naturales en posesión de comunidades indígenas, locales y ejidales y el incremento en las relaciones de las comunidades con actores externos (Agencias gubernamentales, investigadores, empresas y organizaciones de conservación) se vuelve fundamental contar, con instrumentos reguladores internos como reglamentos y Protocolos Bioculturales. Éstos últimos son un instrumento comunitario basado en las capacidades que tiene la comunidad para la toma de decisiones y resolver sus necesidades en torno al manejo y aprovechamiento de los recursos naturales y la biodiversidad de su territorio, así como del conocimiento tradicional asociado. De igual manera, sirven para definir las condiciones de contacto y de negociación y desarrollo de acuerdos con actores externos (evitando que éstas condiciones sean impuestas por éstos) en proyectos y decisiones que puedan afectar a estas comunidades y sus recursos (Shrumm y Jonas, 2012).

El impulso de protocolos bioculturales se presenta como una oportunidad para apoyar a los sistemas de autogobierno y autogestión que se han desarrollado a lo largo de muchas generaciones y están sustentados por el derecho, los valores, y las creencias consuetudinarias. Estos sistemas de toma de decisiones permiten a las comunidades mantener sus medios de subsistencia y garantizar el sustento de generaciones futuras dentro de los límites naturales de sus territorios y áreas (Boege, 2008).

Para el caso del desarrollo del Protocolo Biocultural del ejido Charape La Joya, elaborado en 2018; fue fundamental el trabajo realizado previamente, en la zona durante ocho años, con un enfoque de manejo integrado de cuenca; con la ejecución de proyectos como la implementación de un proceso de formación de comunidades de aprendizaje, mediante la aplicación de dos líneas de trabajo: la conservación y buen manejo de los componentes naturales de la cuenca (suelo, agua y biodiversidad) y el uso apropiado y sustentable de los componentes naturales para el mejoramiento social y económico de los habitantes de la microcuenca.

Para la elaboración del protocolo biocultural, se llevaron a cabo recorridos de campo, encuestas, entrevistas a profundidad, talleres y reuniones informativas y de validación. Todas estas actividades fueron concebidas, como espacios de construcción colectiva que combinaron teoría y práctica, alrededor de los temas específicos que integran el protocolo.

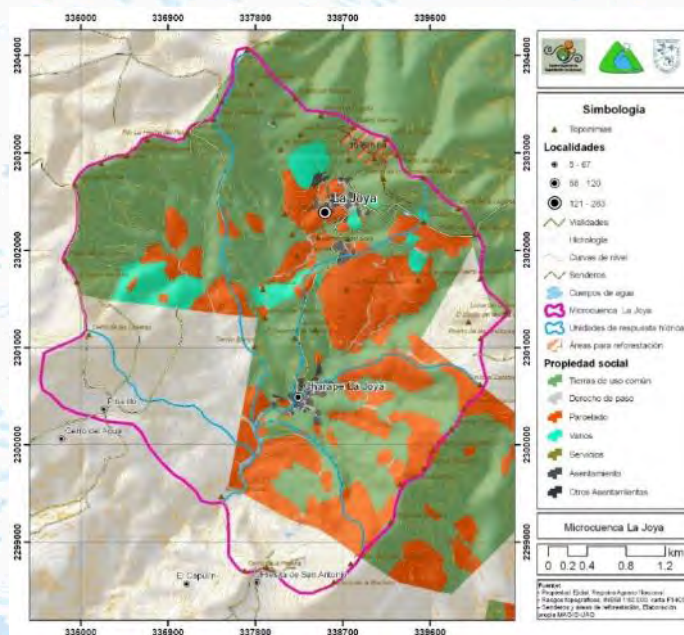
A partir del respeto y la confianza entre diferentes actores, se logró la participación de la comunidad en la elaboración del protocolo biocultural, expresando sus experiencias y conocimientos, en cada una de las etapas para la elaboración del mismo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción de las Localidades

Las localidades de La Joya y Charape La Joya son comunidades rurales que se encuentran en la zona rural del Municipio de Querétaro, pertenecen a la delegación de Santa Rosa Jáuregui. La población total es de 125 personas para Charape La Joya y 156 para La Joya. Ambas localidades conforman el Ejido Charape La Joya (INEGI, 2010) (Figura 1).

**Figura 1.** Mapa del Ejido Charape La Joya, Querétaro.





El trabajo se inició con la presentación del proyecto a las autoridades ejidales para acordar la dinámica, identificar los representantes de grupos de trabajo que participaron en el proceso; se acordaron fechas para llevar a cabo salidas de campo y el trabajo con informantes clave.

Se elaboró material didáctico como trípticos, sobre el conocimiento que tiene la comunidad de sus recursos y la forma en que los manejan. La información se obtuvo a partir de diferentes trabajos de investigaciones, llevados a cabo en las comunidades, por estudiantes e investigadores de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Este material se repartió en cada casa, con la intención de que la información llegara a toda la población, y que se pudiera analizar y complementar en los talleres.

Para generar el protocolo comunitario biocultural, durante todo el proceso se implementaron diferentes metodologías participativas. Los talleres participativos se sustentaron con los aportes de Candelo et al (2003), los cuales señalan la elaboración de actividades por mesas de trabajo, donde los participantes puedan dialogar e identificar los elementos centrales para contestar a un objetivo específico. En este sentido se incluyó la técnica del CIMAS (2009) donde cada participante, y por mesa, escribe los elementos solicitados por el coordinador del taller, para el presente proyecto se pidió escribir en tarjetas de colores (agua=azul, plantas=verde, animales= rojo y suelo=amarillo) los nombres de todos los recursos naturales que reconocieran en el ejido. También se incluyó cartografía participativa, que a través de las bases del FIDA (2009), los participantes identificaron espacialmente el sitio donde se localizan los elementos señalados por el coordinador del taller, además plasmaron en un mapa los recursos naturales que ya había identificado en el ejercicio anterior.

Para el apartado de conocimientos tradicionales se trabajó a partir de la aplicación del Diagnóstico KAP (Conocimientos, Actitudes y Prácticas). El objetivo de este diagnóstico es entender la percepción, conocimientos, actitudes y prácticas de personas representantes de pueblos indígenas y comunidades locales en relación al acceso a recursos genéticos y la participación justa y equitativa de los beneficios derivados de su utilización y del conocimiento tradicional asociado. Específicamente para este trabajo la información sobre el conocimiento tradicional, se generó a partir de entrevistas a líderes comunitarios y diálogos informales con las personas de las comunidades de Charape La Joya y La Joya.

## **RESULTADOS**

Se generó el protocolo comunitario biocultural, que contiene una síntesis de la historia de las comunidades, información socioeconómica de la población actual. Las personas de las comunidades de Charape La Joya y La Joya identifican sus recursos naturales en las categorías de Animales, Plantas, Agua y Suelo.

Reconocen alrededor de 17 especies animales, que utilizan para la producción, las labores, domésticos y los animales silvestres. Con respecto a sus plantas hay varias especies y las dividen en maderables y no maderables. Estas últimas, son muy importantes y destacan el árnica, hierba del sapo y sábila.

El agua es el recurso vital, por lo mismo se utiliza en todo; en actividades alimenticias, domésticas, aseo personal, animales, plantas y la siembra. Quienes hacen uso del agua para el aprovechamiento productivo son los hombres y los niños, mientras que las mujeres lo hacen a nivel del hogar. Los manantiales se encuentran cercanos a las comunidades y, por ende, a las áreas agrícolas.

Hay diversidad en los usos y manejo del suelo, las familias y los ejidatarios son quienes lo ocupan para las actividades agrícolas, también se utiliza el tepetate para la venta, actividad que está dirigida por los hombres, o como insumo para la construcción de viviendas y para la construcción de caminos y venta de material. Los suelos amarillos y cafés, están próximos a las comunidades, mientras que los suelos negros se localizan lejanos a los hogares.

En general consideran que los conocimientos tradicionales deben comunicarse para que no se pierdan y que si externos tienen beneficio económico importante a partir de sus enseñanzas deberían dar algún tipo de remuneración, o en el caso de la investigación, desean saber, ¿por qué por ejemplo una planta ejerce poder curativo y de qué manera?

Las buenas prácticas para la conservación de suelo, agua y biodiversidad que existentes en las dos comunidades, han estado apoyadas por la intervención de distintas instituciones de gobierno y organizaciones civiles, sin embargo, el proyecto del Centro de Capacitación en Cuencas, implementando por la Universidad Autónoma de Querétaro ha sido de las más constantes y determinantes en el ámbito de la conservación.

Si bien la microcuenca La Joya fue protagonista de la primera etapa del proyecto del Centro Regional de Capacitación en Cuencas, consiguiendo los objetivos planteados en distintos rubros del manejo de cuencas, la conservación y el desarrollo comunitario; en la segunda etapa del proyecto se volvió fundamental la implementación de 20 nuevas buenas prácticas, algunas de estas fueron: la rotación de potreros para manejo de infiltración de agua y recuperación de suelos y biodiversidad, microviveros de uso múltiple para manejo de problemas de plagas y como banco de germoplasma, revegetación de cauces con especies nativas, desarrollo de corredores de fauna apoyados por manejo de la alimentación y disponibilidad de agua, manejo orgánico de azolves para su mejoramiento de suelos, control de hormigas arrieras para evitar problemas con la cobertura vegetal, Caminos de uso múltiple, cercado integral de áreas prioritarias para el manejo de una unidad de escurrimiento, y la elaboración y uso de bocashi.

En el ejido existen una serie de acuerdos y reglas que son concertados en las asambleas ejidales. Aun cuando generalmente estos acuerdos no son plasmados en ningún documento o reglamento interno, estos son reconocidos por la comunidad y acatados por sus miembros.

Las comunidades se organizan mediante comités para llevar a cabo la toma de decisiones y acciones en torno a cuestiones religiosas, escolares, ejidales, obras e infraestructura, salud, vivienda e interacción con actores externos.

A lo largo del tiempo las comunidades se han fortalecido en la toma de decisiones y administración del territorio, transformando su manera de administrar los recursos naturales y la biodiversidad. Hay dos factores que han influido de manera importante el primero es la emancipación de la hacienda y el otro, la institución del ejido.

A partir de que los habitantes de La Joya y Charape La Joya lograron conformar el Ejido, el comité representado por el presidente, secretario, tesorero, consejo de vigilancia y sus vocales, ha sido la principal fuente de la toma de decisiones, con el acuerdo legal de que el voto del 50% +1 es el que tiene la decisión final.

Otra Ley consuetudinaria palpable en las comunidades, es el respeto y la consideración que se le tiene a las opiniones de las personas mayores, es decir los que fundaron el ejido o bien que tenían 15 años cuando este se otorgó y que ya pudieron formar parte del grupo de ejidatarios. Son las personas que atesoran la experiencia, la historia, los conocimientos tradicionales, han modificado el acceso-aprovechamiento a los recursos naturales y en general son parte de los líderes comunitarios.

## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

El trabajo que se ha que se ha desarrollado desde hace ocho años en conjunto, entre las Comunidades de la Joya y Charape y la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro, ha permitido la capacitación continua de las personas que ha participado en el proceso y en 2018, facilitó el empoderamiento y la organización para llevar a cabo este ejercicio.



Por otro lado, es importante mencionar que a pesar de que la Constitución reconoce estos reglamentos y acuerdos conocidos como usos y costumbres, el sistema jurídico positivo y occidental sigue ejerciendo presión sobre los pueblos y comunidades indígenas, campesinas y ejidales para que estas reglas sean codificadas. A pesar de que diversos tratados internacionales, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley Agraria, entre otras leyes generales, confieren a los ejidos y comunidades locales derechos y prerrogativas, existe aún cierto desconocimiento al respecto y no se ha logrado que estos grupos se apropien de ellos.

Mucho se ha hablado de los sistemas jurídicos y políticos indígenas, pero poco se ha investigado sobre la organización política de los ejidos y comunidades locales. Para el caso del Ejido Charape La Joya, las asambleas ejidales constituyen el espacio idóneo para la toma de decisiones y acuerdos que rigen la vida del ejido. En los acuerdos pactados de manera oral en estas asambleas se decide el manejo y aprovechamiento que debe darse a los recursos naturales.

Es fundamental que el Estado reconozca la validez de estos acuerdos no únicamente al interior de la comunidad y ejido, sino además que cuando así corresponda, éstos sean acatados a su vez por actores externos que intervengan o interactúen en estos territorios, esto, independientemente de que se encuentren o no plasmados por escrito en un documento.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al proyecto GEF-PNUD sobre ABS en México por el apoyo económico para que este proyecto se llevará a cabo. A los participantes de diferentes instituciones como CONAFOR, SEDEA, SEMARNAT, Procuraduría agraria y al Centro en Capacitación de Cuencas, de la Universidad Autónoma de Querétaro.

## **LITERATURA CITADA**

Boege Schmidt, Eckart. (2008). El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH); Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI).  
Candelo, C., Ortiz, G. y Unger, B. (2003). Hacer talleres: Una guía práctica para capacitadores. WWF Cali: Grafiq editores. Recuperado de [http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm\\_Files/Publicaciones/Hacer-talleres-gu%C3%ADa-para-capacitadores-esp.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Hacer-talleres-gu%C3%ADa-para-capacitadores-esp.pdf)  
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Censo de Población y vivienda 2010. Información digital. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>. Última consulta, 23 de julio 2018.  
Shrumm, H. y Jonas, H. 2012. PROTOCOLOS COMUNITARIOS BIOCULTURALES: KIT DE HERRAMIENTAS PARA FACILITADORES COMUNITARIOS. Herramientas Integradas de Participación y Empoderamiento Legal para Ayudar a las Comunidades a Garantizar sus Derechos, Responsabilidades, Territorios. Natural Justice: Ciudad del Cabo. 1 – 124 p.

## ID-265: MICROCUENCA DE LA PRESA DE UMÉCUARO: CAMBIOS Y EXPECTATIVAS

Fabiola Giovana AMAYA-ACUÑA<sup>a</sup>, Reyna CORREA-CRUZ<sup>b</sup>, Javier GUZMÁN-SÁNCHEZ<sup>c</sup>, Fernanda INFANTE-AVALOS<sup>d</sup>, Mónica PICENO-HERNÁNDEZ<sup>e</sup>, Patricia SANTILLÁN-CARVANTES<sup>f</sup>, Diego José SUBERCASEAUX-UGARTE<sup>g</sup>, Eduardo Arturo TAPIA-LEMUS<sup>h</sup>.

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Morelia, Michoacán, México, email:

[giovana.amaya@gmail.com](mailto:giovana.amaya@gmail.com)

<sup>b</sup> Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, Morelia, Michoacán, México, email:

[reyna.correa.cruz@gmail.com](mailto:reyna.correa.cruz@gmail.com)

<sup>c</sup> Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Morelia, Michoacán, México, email:

[jguzman@iies.unam.com](mailto:jguzman@iies.unam.com)

<sup>d</sup> Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Morelia, Michoacán, México, email:

[ferinfava@gmail.com](mailto:ferinfava@gmail.com)

<sup>e</sup> Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Morelia, Michoacán, México, email:

[mpiceno@iies.unam.mx](mailto:mpiceno@iies.unam.mx)

<sup>f</sup> Leuphana Universität, Lüneburg, Alemania, email: [patycarvantes@gmail.com](mailto:patycarvantes@gmail.com)

<sup>g</sup> Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Morelia, Michoacán, México, email: [dsuberca@uc.cl](mailto:dsuberca@uc.cl)

<sup>h</sup> Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Morelia, Michoacán, México, email:

[edartale911@gmail.com](mailto:edartale911@gmail.com)

### RESUMEN

Este estudio surgió de la colaboración entre el Instituto Municipal de Planeación de Morelia (IMPLAN) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Morelia, en el marco del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, con sede en dicho campus. La microcuenca de la presa de Umécuaro se ubica en la tenencia de Santiago Undameo, al sur del municipio de Morelia, Michoacán. El agua de la presa tiene distintos usos en la región; uno de los principales es la generación de electricidad por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Además, el agua de la cuenca alimenta la presa de Cointzio que abastece el 30% del agua potable que consumen los habitantes de Morelia. Dadas las importantes funciones de la microcuenca, el IMPLAN manifestó la necesidad de contar con mayor información sobre la condición actual, los cambios y las causas respectivas, así como las expectativas de los habitantes locales, para enriquecer los instrumentos de planeación municipal; los cuales constituyeron el propósito de este estudio. Para conseguirlo, se realizaron entre agosto y noviembre de 2018, así como en febrero de 2019: revisión documental de literatura científica y hemerográfica, reuniones con personal técnico del IMPLAN, entrevistas con autoridades locales, encuestas a usuarios de las presas de Umécuaro y Loma Caliente, toma de muestras y análisis de calidad del agua en presas, canal y manantiales, así como la elaboración de una infografía, un cuadernillo y un reporte que se distribuyeron en las localidades estudiadas y en el IMPLAN. En general se identificaron problemas en tres categorías: 1) Acelerado cambio de uso de suelo, 2) Disponibilidad y calidad de agua, y proliferación de plantas acuáticas, y 3) Cambios en aspectos sociales. En consideración a tales problemas, los potenciales de la microcuenca y las expectativas de los habitantes locales, se plantearon una serie de recomendaciones a implementar de manera diferenciada en las zonas funcionales de la microcuenca.

**Palabras clave:** microcuenca, presa de Umécuaro, calidad de agua, disponibilidad de agua, plantas acuáticas.

### 1 INTRODUCCIÓN

Este estudio fue realizado para abonar a la toma de decisiones basada en evidencia para la construcción del Plan de Desarrollo Municipal 2018-2021, uno de cuyos ejes prioritarios es el tema del agua en el Municipio de Morelia. Es así como este estudio surge de la colaboración entre el Instituto Municipal de Planeación de Morelia (IMPLAN) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Morelia, en el marco del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad que se ofrece en dicho Campus y como parte del interés del IMPLAN en impulsar su Programa de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas y Gestión del Agua.



La microcuenca cuenta con dos presas, Umécuaro y Loma Caliente. El agua de ambas es aprovechada de distintas maneras en la región. Uno de los principales usos es la generación de electricidad por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y otros usos son el riego, la pesca y actividades recreativas. El agua de esta zona alimenta a la presa de Cointzio, la cual abastece en un 30% de agua potable a la ciudad de Morelia, la cual hasta el 2010 según datos del último censo del INEGI cuenta con un total de 597,511 habitantes. De tal manera que la microcuenca de la presa de Umécuaro resulta de gran importancia para la planeación municipal.

Derivado del propio interés del IMPLAN, así como de la comunicación establecida con habitantes de comunidades en la microcuenca, se definieron como objetivos el identificar cambios en la microcuenca que derivaron en la situación actual del agua en sus presas, así como los factores que los provocaron y los actores involucrados. En consecuencia, se identificaron: 1) los principales problemas asociados al deterioro; 2) eventos, actores y decisiones que han producido cambios; 3) cambios de uso de suelo; 4) usos y calidad del agua; y 5) expectativas de pobladores y visitantes.

Finalmente, este estudio destaca por tres aspectos: i) fue diseñado para atender una problemática de interés para el IMPLAN, ii) fue realizado de manera rigurosa mediante la integración de enfoques y disciplinas científicas, y iii) fue construido de manera participativa e integra diferentes formas de conocimiento para la construcción de soluciones; puesto que además de la comunicación que existió entre la academia y el IMPLAN, se mantuvo comunicación para la definición de problemas con habitantes de las comunidades de Santiago Undameo, Umécuaro, Loma Caliente y Nieves; mismas que se localizan en la microcuenca de la presa de Umécuaro.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

La microcuenca de la presa de Umécuaro (Fig. 1) forma parte de la cuenca del lago de Cuitzeo, que a su vez integra la cuenca Lerma-Chapala-Santiago. Esta microcuenca abarca un área de 57.3 km<sup>2</sup> (5,730 hectáreas) en los que se encuentran tres porciones de municipios: Morelia (84.5%), Acuitzio (8.6%) y Villa Madero (6.9%). El clima predominante en la cuenca es el templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw). Las temperaturas varían desde 12° a 18°C. La precipitación anual promedio en la mayor parte de la microcuenca de la presa de Umécuaro es de 1,000 a 1,200 mm (Delgado, 2009).

La microcuenca de la presa de Umécuaro se encuentra bajo jurisdicción de la tenencia de Santiago Undameo, en el municipio de Morelia, Michoacán. En esta microcuenca hay 21 localidades (Umécuaro, Nieves, Loma Caliente, El Tejocote, Hojas Anchas, Las Canoas, La Artesa, Las Palomas, Ojo de Agua, Curimeo, Palo Amarillo, Las Mesitas, Puente Hernández, La Codorniz,

Los Capulines, El Landín, Las Tinajas, Rancho Viejo, El Reparo, La Pera y El Renoval) con un total de 1,290 habitantes registrados por el último censo del INEGI, en 2010. Para este estudio se consideraron las localidades con mayor población: Umécuaro (346 hab.), Nieves (332 hab.), Loma Caliente (182 hab.), más la cabecera de la tenencia (Santiago Undameo).

La microcuenca de la presa de Umécuaro, está conformada por las presas de Umécuaro y Loma Caliente, que se abastecen de agua desde varios arroyos y canales que nacen en manantiales en las partes altas. De estas presas la más grande es la de Umécuaro, que abarca 108.62 hectáreas (Delgado, 2009), con una profundidad de 6.16m y un volumen de 2'025,121.23 m<sup>3</sup> (Rendón et al. 2007 citado en Delgado, 2009). Esta presa alimenta la parte inicial



**Figura 1.** Sitio de estudio: Microcuenca de la presa de Umécuaro.

Elaboración propia con información de INEGI, 2015.



del río Grande de Morelia, uno de los dos ríos más importantes de esta ciudad (SAGARPA, 2004 citado en Delgado, 2009).

Procedimientos

A partir de una revisión bibliográfica, hemerográfica, en la normatividad y en internet, se construyó una línea del tiempo con los cambios y sus factores, las decisiones tomadas y los actores involucrados. Además, se mantuvieron cinco reuniones con personal del IMPLAN para recabar información, dar seguimiento al proyecto, así como para la entrega de resultados y recomendaciones.

Se realizaron siete visitas a la zona de estudio para levantamiento de datos en la cabecera de tenencia, Santiago Undameo, y en tres localidades con la mayor población e incidencia de problemas según la revisión previa: Umécuaro, Loma Caliente y Nieves. En particular, se levantaron 28 encuestas a usuarios de las presas de Umécuaro y Loma Caliente; se entrevistó a habitantes y autoridades de las comunidades seleccionadas.



Figura 2. Microcuenca presa de Umécuaro, puntos de muestreo. Elaboración propia con información de INEGI, 2015.

momento de la colecta, se obtuvieron datos de temperatura ambiente (°C), temperatura del agua (°C), oxígeno disuelto (mg/l), conductividad eléctrica (µS/cm) y potencial de Hidrógeno (pH) con un medidor multiparamétrico para Calidad del Agua HQd/IntelliCAL™ marca HACH; además, se obtuvo la turbidez del sitio de muestreo a través de la distancia desde la superficie a la que mantenía visibilidad un disco de Secchi.

En el Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental se analizaron once parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua, según se resume en el Cuadro 1. En particular, el análisis de aniones se realizó a través de cromatografía de iones en un cromatógrafo 883 Basic IC plus conectado a un automuestreador 863 Compact Autosampler, ambos marca Metrohm. Los resultados obtenidos se compararon con parámetros establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) y en los Criterios Ecológicos de Calidad del Aguas CE-CCA-001/89 (DOF, 1989).

Cuadro 1. Técnicas utilizadas para el análisis de muestras de agua

Parámetro	Unidades	Método de prueba	Norma aplicada
-----------	----------	------------------	----------------

Además, se identificaron doce puntos de muestreo de calidad del agua (Fig. 2): cuatro manantiales en Nieves, un manantial en Loma Caliente, dos puntos en la presa de Loma Caliente, cuatro en la presa de Umécuaro y un punto medio en el canal que conecta Nieves y la presa de Umécuaro. La toma de muestras se realizó en dos temporadas, lluvias en octubre 2018 y secas en febrero 2019. Es importante señalar que, en la comunidad de Nieves, la participación e involucramiento de las autoridades locales y personas de la comunidad fue alta ya que mostraron especial interés tanto en la selección de puntos de muestreo como en la toma de muestras. Gracias a esto, en este sitio se realizó un muestreo participativo en seis puntos, cinco en manantiales y uno en canal, con la utilización del equipo de campo Kit La Motte e interpretación de resultados *in situ*.

Las muestras de agua recolectadas en los seis puntos en las presas de Umécuaro (4) y Loma Caliente (2) se obtuvieron con una botella de Van Dorn, en lancha de remos y fueron transportadas en frío para su posterior análisis en laboratorio. Al momento de la colecta, se obtuvieron datos de temperatura ambiente (°C), temperatura del agua (°C), oxígeno disuelto (mg/l), conductividad eléctrica (µS/cm) y potencial de Hidrógeno (pH) con un medidor multiparamétrico para Calidad del Agua HQd/IntelliCAL™ marca HACH; además, se obtuvo la turbidez del sitio de muestreo a través de la distancia desde la superficie a la que mantenía visibilidad un disco de Secchi.



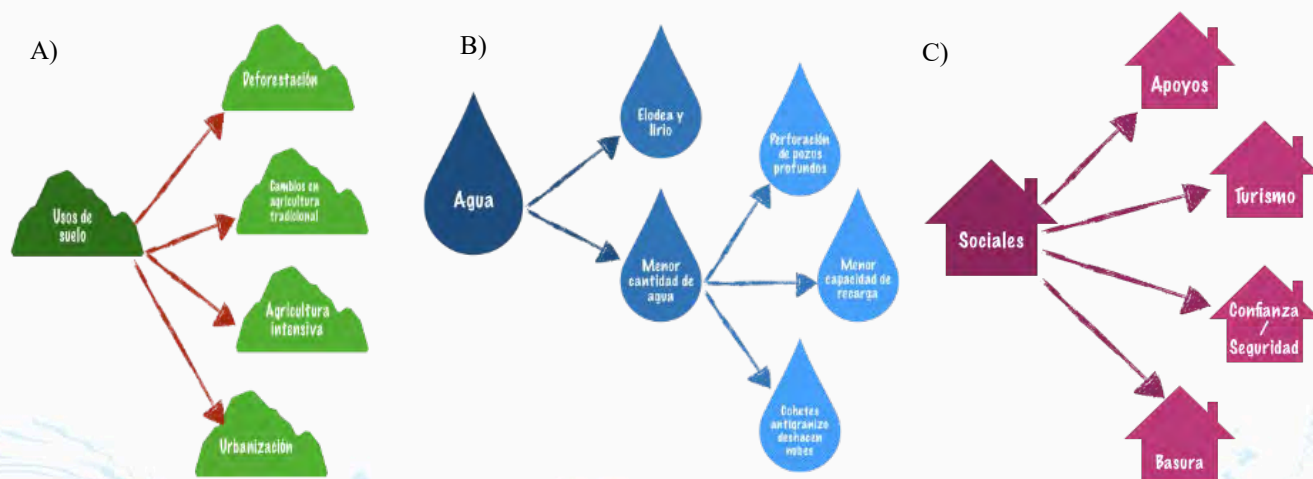
Alcalinidad	mg/l	Titulación automática	NMX-AA-036-SCFI-2001
Conductividad eléctrica	µS/cm	Conductimetría	NMX-AA-093-SCFI-2000
Dureza total	ml EDTA	Volumetría	NMX-AA-072-SCFI-2001
pH	pH	Potenciometría	NMX-AA-008-SCFI-2000
Turbidez	UNT		NMX-AA-038-SCFI-2001
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l		NMX-AA-028-SCFI-2001
Demanda Química de Oxígeno	mg/l		NMX-AA-030/1-SCFI-2012
Aniones (Cl <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , N-NO <sub>3</sub> , N-NO <sub>2</sub> , PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> )		Cromatografía de iones	Método proporcionado por Metrohm y EPA 300.1
Organismos coliformes totales	UFC	Filtración de membrana	NMX-AA-102-SCFI-2006
Organismos coliformes fecales	UFC	Filtración de membrana	NMX-AA-102-SCFI-2006

Los problemas encontrados, resultados y recomendaciones derivadas de su análisis se integraron en un cuadernillo y una infografía que fueron distribuidos en las tres comunidades seleccionadas, la cabecera de tenencia y el IMPLAN. Estos documentos son parte integral del informe final entregado al IMPLAN para su incorporación a instrumentos de planeación municipal. La entrega de estos documentos se acompañó de presentaciones a los habitantes y autoridades.

### 3 RESULTADOS

Los problemas identificados en la microcuenca se ubicaron en tres categorías (Fig.3):

- El acelerado cambio de uso del suelo, se relaciona principalmente con la proliferación de la agricultura intensiva de aguacate y otros frutales, en reemplazo principalmente de bosque (deforestación) y de agricultura tradicional (milpa y ganadería). También se observan cambios en la propiedad de la tierra y compraventa de tierras ejidales para urbanización.
- La disponibilidad y calidad de agua, así como la proliferación de plantas acuáticas, se relaciona con la perforación de pozos profundos para abastecer a la agricultura intensiva, la incorporación de elementos químicos al agua de las presas y cursos de agua, y el aumento de plantas acuáticas como elodea y lirio, las que impactan los ecosistemas acuáticos, la estética del lugar y su potencial turístico. El impacto de estas plantas acuáticas es especialmente notorio y alto en temporada de aguas bajas.
- Los cambios en aspectos sociales se relacionan principalmente con cambios vinculados a nuevos actores y nuevas actividades en el territorio. Se observa una amenaza a las relaciones sociales por una percepción local de inseguridad y desconfianza debido a la llegada de personas externas que se dedican a la instalación de huertas de agricultura intensiva. Además, la falta de apoyo y oportunidades a los productores locales es una causa para la venta de tierras a personas externas.



**Figura 3.** Problemas identificados en la microcuenca presa de Umécuaro. **A)** Problemas relacionados a cambio de uso de suelo; **B)** Problemas relacionados con la disponibilidad y calidad de agua; y **C)** Problemas relacionados con cambios en aspectos sociales. Elaboración propia con información recabada durante entrevistas, encuestas y revisión bibliográfica.

## Calidad del agua

A continuación, se presentan los resultados de los parámetros que permiten tener una aproximación de la calidad del agua para uso recreativo y consumo humano en época de lluvias y de secas tanto en presas como en manantiales con relación a lo establecido en: i) los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89; y ii) los límites máximos permisibles de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", respectivamente.

### Calidad del agua en presas

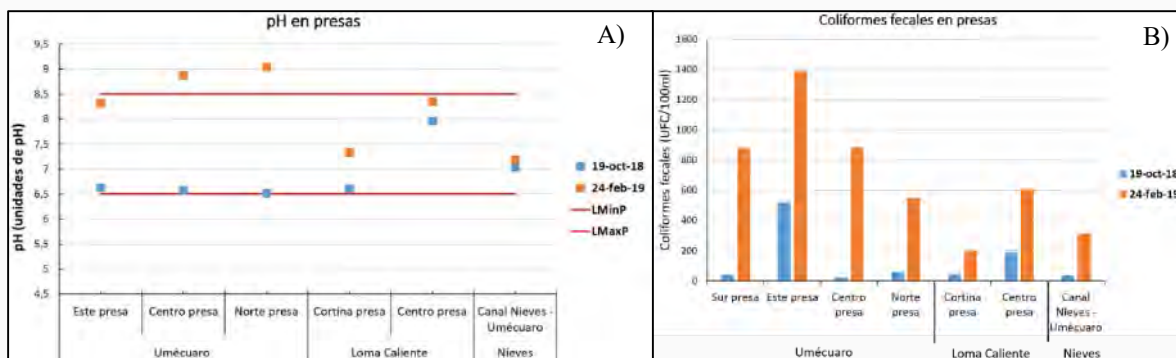
En el caso de la presa de Umécuaro, si bien la mayoría de los parámetros medidos en los cuatro puntos de muestreo presentan valores por debajo de los límites establecidos en los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89 tanto en época de lluvias como en secas; se observaron parámetros superiores a los establecidos en la normatividad como el pH<sup>13</sup>, sólidos suspendidos totales, DQO y la presencia de coliformes fecales (Fig. 4).

En cuanto al pH se registró un incremento de alrededor de 2 unidades de la época de lluvias (6.52 – 6.74) a la época de secas (8.33 a 9.04). Estos cambios bruscos de pH están relacionados con las bajas concentraciones de alcalinidad (menos de 30 mg/l) que se registran en la presa, lo que le confiere una baja capacidad para amortiguar cambios en el pH. En lo que respecta a los sólidos suspendidos totales, estos se encuentran por arriba de los 7 mg/l en el centro de la presa en el muestreo hecho en octubre de 2018, mientras en febrero de 2019, los cuatro sitios de muestreo se encuentran por debajo de los 6 mg/l. Otro parámetro que registró altas concentraciones en octubre de 2018 fue la demanda química de oxígeno (DQO): en el lado sur de la presa con un valor de 45 mg/l y los puntos del centro y norte de la presa con valores de 12 mg/l; lo que según los criterios ecológicos se clasificaría como contaminada. Este mismo parámetro, en época de secas, se registró por debajo de 3 mg/l en cuatro sitios de muestreo en la presa de Umécuaro. En la presa Loma Caliente los parámetros que son superiores a los límites máximos permitidos por la normatividad son la presencia de bacterias coliformes totales y fecales. Cabe mencionar que el pH es mayor en época de secas que en lluvias; mientras que los valores de sólidos suspendidos totales son mayores en lluvias que en secas al igual que la conductividad eléctrica, esto debido al arrastre de sedimentos originados por la erosión del suelo.

<sup>13</sup> Dadas las diferencias de valores de pH entre muestreos se requirió tener un referente que nos permitiera comparar la calidad del agua, por ello se utilizó la NOM-127-SSA1-1994 dado que en los criterios ecológicos CE-CCA-001/89 este parámetro no es considerado.



En el canal Nieves-Umécuaro la presencia de bacterias coliformes fecales en ambas fechas de muestreo presentan valores por arriba de los establecidos en la normatividad.

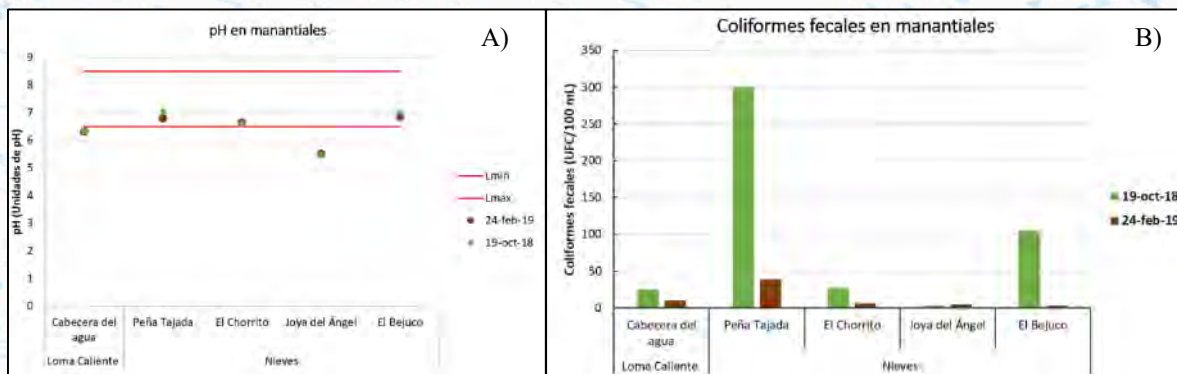


**Figura 4. A)** Variaciones en los valores de pH en muestreos realizados en octubre de 2018 y febrero de 2019 en las presas de Umécuaro, Loma Caliente y el canal de Nieves a Umécuaro. Las líneas rojas delimitan el rango aceptable de pH 86.5-8.5 para agua de uso y consumo humano según la NOM-127. **B)** Variación del crecimiento de bacterias coliformes fecales en octubre de 2018 y febrero 2019 en las presas de Umécuaro, Loma Caliente y el canal de Nieves a Umécuaro. Elaborado por Rosaura Paez, profesora investigadora del CIGA.

En el análisis del contenido de aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitratos y Sulfatos) para el muestreo en época de lluvias fueron muy bajos con respecto a los límites máximos establecidos en la NOM-127-SSA1-1994; sin embargo, para el muestreo en época de estiaje aun cuando se mantienen por debajo de los límites establecidos, destaca la presencia en la mayoría de los puntos de muestra de nitrógeno en forma de nitritos y nitratos. La presencia de fósforo en el muestreo de época de estiaje es otro punto para destacar, dado que en el muestreo anterior no había sido detectado y en esta ocasión todos los puntos contaron con registro de este nutriente, con excepción de la cortina de la presa Loma Caliente.

### Calidad del agua en manantiales

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio, en general la mayoría de los parámetros analizados de los cinco manantiales muestreados (Joya del Ángel, Cabecera del agua, El Chorrillo, Peña Tajada y El Bejuco) se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, tanto en lluvias como en secas. Sin embargo, los parámetros que resultaron con valores fuera de la NOM-127 son pH, turbidez y organismos coliformes (Fig. 5).



**Figura 5. A)** Variaciones en los valores de pH entre octubre de 2018 y febrero de 2019 en los cinco manantiales. Las líneas rojas delimitan el rango aceptable de pH 86.5-8.5 para agua de uso y consumo humano según la NOM-127. **B)** Variación del crecimiento de bacterias coliformes fecales en octubre de 2018 y febrero 2019 en los cinco manantiales. Elaborado por Rosaura Paez, profesora investigadora del CIGA.

Llama la atención que el manantial Joya del Ángel presenta un pH ácido con valores alrededor de 5.5 unidades tanto en lluvias como en secas; otro manantial que se encuentra en condiciones similares es la Cabecera del agua que presenta un pH ligeramente ácido (alrededor de 6.3), ambos casos por debajo del rango de 6.5 a 8.5 establecido

por la NOM-127. Cabe mencionar que ambos manantiales presentan valores de alcalinidad bajos, lo que los hace altamente vulnerables a cambios bruscos en el pH.

Otro manantial en el que se registró un parámetro fuera de norma fue el Bejuco, en el que la turbidez se encontró por arriba de 5 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) que es límite máximo permitido por la NOM-127. En época de lluvias, Bejuco registró una turbidez de 10 UNT, mientras que en secas fue menor de 1 UNT (0.98). También es importante mencionar que en todos los manantiales se registró la presencia de bacterias coliformes fecales, lo que representa un riesgo para la salud de las personas.

### **Expectativas**

Las cuatro comunidades comparten expectativas tales como: 1) mantener la capacidad de la microcuenca para abastecer agua, 2) que se tengan ríos limpios, 3) tener agua de buena calidad, 4) realizar actividades de reforestación, 5) mejorar y reparar los caminos y 6) crear un Área Natural Protegida (ANP) entre las comunidades de Nieves, Loma Caliente, Atécuaro y el municipio de Villa Madero.

Por otra parte, también hay diferencias en cuanto a su visión a futuro. Se observa, que Umécuaro tiene un gran interés por impulsar el turismo y actividades relacionadas con dicho sector. En primer lugar, sugieren atender el problema de la elodea y después mejorar la infraestructura de servicios, impulsar actividades deportivas de aventura como la pesca, el kayak y la tirolesa, así como mejorar las telecomunicaciones de la zona.

Santiago Undameo quisiera que se atendieran problemas más de orden social como mejorar la seguridad, el impulso de actividades culturales, programas de concientización de la basura, la gestión de basura, la creación de unidades deportivas, la venta de terrenos a gente local y que las autoridades locales se tomen en cuenta con mayor seriedad en la toma de decisiones municipales.

Loma Caliente quisiera tener mayor control del agua de su presa para poder desarrollar actividades turísticas y de pesca recreativa. Por otra parte, en Loma Caliente hay una creciente preocupación por proteger e impulsar actividades forestales, cuidar los bosques, aprovechar resina y madera, así como detener la tala clandestina.

Por su parte, Nieves se mostró preocupada porque “la gente de Morelia se dé cuenta que dependen del agua de aquí” y que se atiendan las denuncias contra los aguacateros y contra la creación de pozos profundos. Les gustaría que hubiera una escuela de Bachilleres en su comunidad y conocer la calidad del agua en los nacimientos y en los ríos. Les gustaría que los ríos estuvieran limpios. Expresaron alto interés en reforestar, respetar el flujo libre de los ríos y piden que el gobierno ayude como mediador entre intereses de huertas de aguacate y sus propios intereses. Tanto Loma Caliente y Nieves están muy interesados en declarar parte del territorio como un Área Natural Protegida.

## **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

El aumento del uso de suelo agrícola, en particular para cultivos intensivos, tienen fuertes repercusiones en la cantidad de agua disponible para los habitantes locales; además de provocar problemas deforestación y el aumento de uso de agroquímicos. Por otro lado, según las entrevistas, es notable que la agricultura intensiva se relaciona con dos de los problemas sociales: venta de terrenos y aumento en la inseguridad. De esta manera, se reconoce a la agricultura intensiva y consecuentemente el cambio de uso de suelo, como un problema que desencadena varios de los otros problemas identificados.

En cuanto a los resultados de las muestras puntuales de agua analizadas y comparadas con los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89 y la NOM-127-SSA1-1994 resalta la presencia de coliformes fecales en presas y manantiales, lo que representa un riesgo para la salud de las personas. Asimismo, los valores de pH en dos de los manantiales (Joya del Ángel y Cabecera del agua), se encuentran en límites inferiores al valor mínimo establecido por la NOM-127.



Para el caso de uso recreativo en las presas, llama la atención que existen puntos con contaminación en la presa de Umécuaro en concordancia con el estudio previo de CONAGUA (2016). Si bien los análisis de las muestras de agua son insuficientes para ver la relación con la planta acuática elodea o con el lirio acuático, se puede confirmar que tanto habitantes como visitantes reconocen a ambas como un problema. En específico, las habitantes resaltan a la elodea como un problema cuando baja el nivel de las presas. Habitantes y visitantes reconocen que disminuye el atractivo de la presa de Umécuaro.

En vista de los resultados de este estudio, si se atienden las preocupaciones locales, es muy probable que mejoren las condiciones de vida y como consecuencia los atractivos recreativos para los visitantes. Así, es posible señalar como prioritario atender tres problemas:

- Cambios de uso de suelo, en especial para desarrollo de agricultura intensiva y el caso específico de producción de aguacate.
- Mayor uso de agua para riego, y deterioro de la calidad de las fuentes disponibles en la cuenca.
- Reciente aparición y rápido crecimiento de plantas acuáticas invasoras (elodea y lirio) en los cuerpos de agua de las presas Umécuaro y Loma Caliente.

Considerando los principales problemas identificados, los potenciales de la microcuenca de la Presa de Umécuaro y las expectativas de los habitantes locales es necesario realizar acciones a nivel de planeación territorial, investigación y de buenas prácticas locales que permitan a las comunidades tener agua adecuada en cantidad y calidad para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y actividades productivas. En especial se considera como prioritario los siguientes puntos:

- 1) Conformación de comités de cuenca y agua potable. Considerando que estos son formados por personas que viven dentro de la comunidad, y por lo tanto cuentan con conocimientos y capacidades sociales que permiten tener una gestión adecuada de la cuenca. Es recomendable que estos comités estén conformados por hombres y mujeres de manera equitativa. De esta manera se fortalece la participación local y se facilita la vinculación con diversos sectores que inciden en el territorio y permiten implementar un modelo de intervención diferenciada que atienda las necesidades de las comunidades y otros sectores de la microcuenca.
- 2) Ordenamiento del territorio. En consideración a los problemas derivados del cambio de uso de suelo y agricultura intensiva es importante distinguir la aptitud del territorio en una escala local.
- 3) Manejo sustentable de aguacate y otros frutales.
- 4) Actividades recreativas. En consideración con el atractivo de la microcuenca por su entorno natural y la presencia de actividades agrícolas, es claro su potencial para realizar actividades relacionadas al ecoturismo y turismo rural.
- 5) Elaborar un estudio técnico para desarrollar un plan de manejo de las plantas acuáticas presentes en las presas: elodea y lirio.
- 6) Protección de manantiales. En vista de los puntos preocupantes encontrados en el muestreo (bacterias, pH ácido y turbidez), se recomienda la protección de los manantiales, sobre todo en aquellos que proveen agua para uso doméstico y consumo humano en las comunidades.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

La realización de este estudio no hubiese sido posible sin la colaboración de diferentes personas de las comunidades de Umécuaro, Nieves, Loma Caliente y Santiago Undameo, por la buena disposición, el tiempo dedicado y la información provista. Agradecemos también a todos los profesores que, de alguna manera y en alguna instancia, aportaron a la realización del presente estudio y nos apoyaron en el respectivo proceso. En especial agradecemos a la Dra. Ana Burgos y a la Mtra. Rosaura Paez por su alta y destacada dedicación y motivación durante el transcurso del estudio.



Además, agradecemos al Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental por facilitar los recursos necesarios para el análisis de muestras de agua.

También se agradece la colaboración de estudiantes del Posgrado en Geografía, quienes apoyaron con la toma de muestras durante la temporada de secas para complementar el análisis de calidad del agua. Por último, agradecemos al IMPLAN la posibilidad de que este estudio se haya realizado y el interés por acercarse y aportar al desarrollo de la microcuenca de la presa de Umécuaro.

## 6. LITERATURA CITADA

- Alfaro, F. 2018. Instalarán pinos y agaves mezcaleros en zona aledaña a presa de Umécuaro. *Quadratin*. Nota periodística del 16 de enero de 2018, disponible en: <https://www.quadratin.com.mx/economia/instalaran-pinos-agaves-mezcaleros-en-zona-aledana-a-presa-umecuaro/>
- Caro Lara, I., Romero Otálora, Z., y Lora Silva, R. 2009. Producción de abonos orgánicos con la utilización de elodea (*Egeria densa*) presente en la laguna de Fúquene. *U.D.C.A. Actualidad y divulgación científica*, 91-100.
- Centro de Investigaciones en Ecosistemas CIEco, Universidad Nacional Autónoma de México Campus Morelia. 2012. Modelo de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Municipio de Morelia. Honorable Ayuntamiento de Morelia. 605-658.
- Comisión Nacional de Agua 2016. Calidad del Agua superficial 2012-2016. Fecha de consulta: septiembre de 2018; disponible en: [http://files.conagua.gob.mx/transparencia/Calidad%20del%20Agua%20Superficial\\_2012-2016.xlsx](http://files.conagua.gob.mx/transparencia/Calidad%20del%20Agua%20Superficial_2012-2016.xlsx)
- Comisión Nacional del Agua. 2015. Monitoreo de calidad de agua. Fecha de consulta: septiembre de 2018; disponible en: [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/TF\\_CalidadAgua/CalidaddelAgua.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/TF_CalidadAgua/CalidaddelAgua.pdf)
- CONAMA. 2016. Estudio experimental de métodos de control de *Elodea canadensis* en el embalse de La Torrasa (2013-2015). Obtenido de: Global Invasive Species Database (2018) Species profile: *Elodea canadensis*. Fecha de consulta: septiembre de 2018; disponible en: <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=290>
- Delgado Lemus, Tzitzí Sharhi. 2009. *Evaluación de sustentabilidad de los sistemas de producción rural en tres comunidades de la microcuenca Umécuaro-Loma Caliente, Michoacán*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. 157pp.
- Dourojeanni, A. 1993. Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable, aplicadas a microrregiones y cuencas. Documento 89/05. *Serie Ensayos ILPES-CEPAL*. Santiago, Chile.
- Fonseca, C y E. Mayer. 1988. Comunidad y producción en la agricultura andina. *FOMCIENCIAS*, Lima, Perú.
- Gastó J., D. Subercaseaux, L. Vera y T. Tomic. 2012. Agriculture and Rurality as Constructor of Sustainable Cultural Landscape. *Landscape Planning*. Murat Ozyavuz (Ed.), ISBN: 978-953-51-0654-8, InTech. Fecha de consulta: septiembre de 2018; disponible en: <http://www.intechopen.com/books/landscape-planning/agriculture-and-rurality-as-constructor-of-sustainable-cultural-landscape>
- Gobierno de Michoacán. Cuadernillo turístico, disponible en: [http://www.visitmichoacan.com.mx/pdf/turismo\\_aventura.pdf](http://www.visitmichoacan.com.mx/pdf/turismo_aventura.pdf)
- Guevara-Santamaría, M. A.; Tagle-Chávez, A. G. 2012. Análisis Morfométrico y delimitación de unidades ambientales homogéneas de la subcuenca hidrográfica Umécuaro-Loma Caliente. En Bravo-Espinosa et al (Edits.), *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán*. Michoacán, México: INIFAP-Campo experimental Uruapan. UNAM-Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, págs. 64-72.
- Molina, A. 2018. Contaminación asfixia Presa de Cointzio. *La Voz de Michoacán*. Nota periodística del 22 de agosto de 2018, disponible en: <http://www.lavozdemichoacan.com.mx/morelia/contaminacion-asfixia-presa-de-cointzio/>
- Organización Mundial de la Salud Ginebra. 1998. Guías para la calidad del agua potable. Segunda edición Volumen 3. *Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad*. Ginebra, Suiza.
- Pérez, J. 2017. Umécuaro, invadido por planta acuática desde hace más de un año. *Cambio de Michoacán*. Nota periodística del 23 de abril de 2017, disponible en: <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/nota-n21729>
- Pérez, J. 2017. Umécuaro, dañado por el cambio de uso de suelo, advierte investigador. *Cambio de Michoacán*. Nota periodística del 17 de julio de 2017, disponible en: <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/nota-n26416>



- Pérez, J. 2017. Huertas causan deterioro ambiental en Umécuaro. *Cambio de Michoacán*. Nota periodística del 05 de agosto de 2018, disponible en: <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/nota-n27473>
- Prat, C., Márquez, A. y Esteves, M. 2005. Estudio batimétrico de la presa de Cointzio y de Umécuaro. Estudio en el marco del programa europeo REVOLSO (Alternative agriculture for a sustainable rehabilitation of deteriorated volcanic soils in Mexico and Chile 2002-2006). Fecha de consulta: dd de mm de 2018; disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Christian\\_Pratt/publication/282172117\\_Estudio\\_batimetrico\\_de\\_la\\_presa\\_de\\_Cointzio\\_y\\_de\\_Umecuaro/links/5626073908ae4d9e5c4c47d2/Estudio-batimetrico-de-la-presa-de-Cointzio-y-de-Umecuaro.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Christian_Pratt/publication/282172117_Estudio_batimetrico_de_la_presa_de_Cointzio_y_de_Umecuaro/links/5626073908ae4d9e5c4c47d2/Estudio-batimetrico-de-la-presa-de-Cointzio-y-de-Umecuaro.pdf)
- Queron, C. 2002. Relaciones entre actores sociales y territorio rural. El caso de la comuna de Santo Domingo. En: Gastó, J., P. Rodrigo e I. Aránguiz. *Ordenación Territorial, Desarrollo de Predios y Comunas Rurales*. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. LOM Ediciones. Santiago, Chile.
- Rendón, López, Marta Beatriz, Vázquez Aguirre, A. A., Chacón Torres, A., Ayala. 2007. Efectos del manejo hidráulico en un sistema de pulsos Presa de Umécuaro, municipio de Morelia, Michoacán. *Memorias del VI congreso internacional y XII nacional de ciencias ambientales*.
- Reynoso, L. F. 2017. Buscan alternativas para erradicar planta elodea de presa de Umécuaro. *Quadratin*. Nota periodística del 05 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.quadratin.com.mx/principal/buscan-alternativas-erradicar-planta-elodea-presa-umecuaro/>
- Reynoso, L. F. 2017. Denuncian desaparición de sardina endémica en Umécuaro. *Quadratin*. Nota periodística del 05 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.quadratin.com.mx/regiones/denuncian-desaparicion-sardina-endemica-en-umecuaro/>
- Santoyo Guerrero, J. 2017. Nieves y Umécuaro, donde vale más un aguacate que la vida de una familia. *Cambio de Michoacán*. Nota periodística del 02 de octubre de 2017, disponible en: <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/columna-nc30568>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2004. Plan rector de producción y conservación de la microcuenca Umécuaro, Municipio de Morelia, Michoacán. Fideicomiso de Riesgo Compartido. Morelia, Michoacán, México, diciembre 2004.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1989. Acuerdo por el que se establecen los Criterios de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. DOF 13 de diciembre de 1989. México.
- Secretaría de Salud. 2000. Modificación de Norma Oficial Mexicana-127-SSA1-1994, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que se debe someterse el agua para su potabilización. DOF 22 de noviembre de 2000. México.
- Susperregui, A. 2008. Caractérisation hydro-sédimentaire des retenues de Cointzio et d'Umécuaro (Michoacán, Mexique) comme indicateur du fonctionnement érosif du bassin versant. Minéralogie. Université Joseph-Fourier - Grenoble. Francia. I.
- Torres, P. 2018. Tenencias y comunidades de Morelia tienen un enfoque más de naturaleza, cultura y artesanía: Claudia Chávez. *Noventa Grados*. Nota periodística del 19 de agosto de 2018, disponible en: <http://www.noventagrados.com.mx/politica/tenencias-y-comunidades-de-morelia-tienen-un-enfoque-mas-de-naturaleza-cultura-y-artesania-claudia-chavez.htm>
- Torres Magaña, A. 2018. Alcalde reconoce azolve en presa de Umécuaro. *MiMorelia*. Nota periodística del 16 de enero de 2018, disponible en: <https://www.mimorelia.com/alcalde-reconoce-azolve-presa-umecuaro>.

# **ID-377: POLITICAS HIDRICAS Y FORESTALES DE MITIGACION AL CAMBIO CLIMATICO EN MEXICO**

AVILA GARCIA, PATRICIA<sup>14</sup>

## **RESUMEN**

El objetivo es analizar las políticas públicas asociadas con la seguridad hídrica y la mitigación al cambio climático en cuencas hidrológicas con importancia forestal y presencia indígena en México. La idea es explicar los alcances y limitaciones de tales políticas en un contexto complejo: la vulnerabilidad del agua ante el cambio climático y sus implicaciones en la seguridad hídrica de la población. Para ello se analiza un programa federal: “bosque y cambio climático”, que contempla la aplicación de manera transversal de las políticas de seguridad hídrica, restauración de bosques y mitigación al cambio climático en cuencas consideradas prioritarias para el país; y se ejemplifica con una región forestal de alta presencia de población indígena, que es estratégica para garantizar el abasto de agua a la Ciudad de México.

La ponencia comprende tres apartados: A) Se muestra la importancia hidrológica de los bosques y la vulnerabilidad del agua ante el cambio climático y la deforestación. B) Se revisan las políticas públicas a nivel federal (hídrica y forestal) y su transversalidad para la adaptación y mitigación al cambio climático. C) Se aborda la implementación de un programa federal con fondos internacionales para garantizar la seguridad hídrica y mitigación al cambio climático, a través de la restauración de bosques y aplicación de salvaguardas sociales en cuencas delimitadas por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) como “sistema de microcuencas hidrográficas prioritarias”. En específico se estudia el sistema de microcuencas “Cutzamala-La Marquesa”, que abarca áreas forestales de los estados de México, Michoacán y Distrito Federal (hoy Ciudad de México) con alta presencia de pueblos indígenas de origen nahua, mazahua y otomí. Su relevancia hidrológica es que provee de agua a la Ciudad de México a través de las obras de trasvase de los sistemas Lerma y Cutzamala.

La metodología utilizada consistió en la consulta de bibliografía, documentos y estadísticas oficiales; y la realización de trabajo de campo. Esto último se dio en el marco de un proyecto realizado por la UNAM para evaluar el programa “Bosque y Cambio Climático” en su vertiente de “programa de restauración forestal en cuencas hidrográficas prioritarias”.

**Palabras clave:** Cuencas hidrosociales, seguridad hídrica, políticas transversales

## **1. AGUA, BOSQUES Y CAMBIO CLIMÁTICO: EL PROBLEMA EN CUESTIÓN**

De acuerdo con Cotler *et al* (2013), la noción de cuenca nos permite entender espacialmente el ciclo hidrológico, así como los impactos de las actividades humanas en los ecosistemas, los recursos naturales y la calidad de vida de la población. La dinámica hidrológica de una cuenca se distingue por zonas funcionales que están asociadas con la topografía y la geología.

La cuenca es un elemento integrador de los ecosistemas y el ciclo hidrológico, ya que como señala Maass (2003), el funcionamiento de los ecosistemas está controlado por su flujo hidrológico al actuar como un sistema circulatorio donde viajan nutrientes. En el caso de ecosistemas terrestres como los bosques, la fuente principal de agua es la precipitación pluvial, donde una parte se infiltra en el suelo y otra es interceptada por el dosel de la vegetación y el mantillo. Esta agua interceptada regresa (hasta 50%) a la atmósfera en forma de vapor de agua; y la que cruza por el dosel o escurre por los troncos de los árboles se infiltra o fluye por gravedad a través de la superficie de la cuenca. En la medida que hay capa vegetal en el suelo, la infiltración de agua es mayor y la velocidad del agua de escorrentía se reduce y arrastra menos azolve.

No obstante, Maass (2003) señala que una parte del agua infiltrada se retiene en capas poco profundas del suelo para garantizar los procesos vitales de las plantas a través de sus raíces y luego es expulsada por sus estomas en forma de transpiración. El resto del agua infiltrada va a capas más profundas del subsuelo y alimenta los

---

<sup>14</sup> Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad-UNAM campus Morelia. Email: pavila@cieco.unam.mx



acuíferos. De allí la importancia hidrológica de los bosques y la vegetación en la formación de fuentes de agua superficial y subterránea (manantiales, ríos, acuíferos) para los ecosistemas y las actividades humanas.

La vulnerabilidad hídrica de una cuenca emerge cuando las perturbaciones de tipo antropogénico como la deforestación, conllevan a cambios en los componentes del ciclo hidrológico y su afectación en la disponibilidad y calidad del agua superficial y subterránea. En primer término, la destrucción de ecosistemas como selvas, manglares y bosques (ocasionada principalmente por actividades económicas) impacta la cobertura forestal y genera mayor erosión del suelo y escurrimiento superficial, reducción de la infiltración, alteraciones en el microclima y pérdida de biodiversidad. Además los árboles y la vegetación natural como seres vivos tienen la capacidad de transformar por medio de la fotosíntesis el bióxido de carbono en oxígeno y al reducirse su cobertura se afecta esta función. En consecuencia la relevancia de los bosques no solo es a nivel hidrológico, sino también por la producción de oxígeno, la captura de carbono, la regulación del clima y la conservación de la biodiversidad. El problema es que los bosques son vistos principalmente como reserva de recursos maderables y como un espacio potencial (al destruirlo y cambiar uso del suelo) para la expansión agropecuaria y crecimiento urbano, entre otros.

En segundo término, la vulnerabilidad hídrica de una cuenca está asociada con el cambio climático global, ya que se alteran los patrones de temperatura y precipitación, la ocurrencia de eventos extremos (sequías o inundaciones); y la disponibilidad y calidad del agua para los ecosistemas, población y actividades económicas. En el Reporte Técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) sobre el agua y cambio climático (Bates *et al*, 2008) se señala que el agua está relacionada con todos los componentes del sistema climático (atmósfera, hidrósfera, criósfera, superficie terrestre y biósfera). Por ello el cambio climático afecta al agua a través de las variaciones de los componentes del ciclo hidrológico y de los sistemas hidrológicos como son: “cambios en las pautas, intensidades y valores extremos de precipitación; fusión generalizada de la nieve y del hielo; aumento del vapor de agua atmosférico; aumento de la evaporación; y variaciones de la humedad del suelo y de la escorrentía” (Bates *et al*, 2008: 15).

En el citado Reporte del IPCC se señala que las proyecciones muestran intensidad y variabilidad crecientes de la precipitación, lo que agravaría el riesgo de inundaciones y sequías en numerosas áreas: “La frecuencia de episodios de precipitación intensa (o la proporción total de lluvia descargada por lluvias intensas) aumentará muy probablemente en la mayoría de las áreas durante el siglo XXI, repercutiendo así en el riesgo de inundaciones provocadas por lluvias. Al mismo tiempo, aumentará la proporción de superficie terrestre que padece sequía extrema (probable), y se manifestará una tendencia a la sequía en el interior de los continentes durante el verano, particularmente en las regiones subtropicales de latitudes bajas y medias” (Bates *et al*, 2008: 3).

Una cuestión sustantiva para entender el funcionamiento hidrológico de una cuenca y su sensibilidad al cambio climático, es a través de la dimensión antropogénica, es decir, las diferentes formas de uso y manejo de los ecosistemas y lógicas de aprovechamiento de los recursos naturales como agua, suelos y bosques. Diversos autores (Toledo y Barrera-Bassols, 2008; Boege, 2008) señalan que las sociedades rurales (como los pueblos indígenas y campesinos) mantienen una cosmovisión y conocimiento profundo de la naturaleza, que se expresa en estrategias sustentables de manejo de ecosistemas en su territorio: “Los pueblos indígenas...son pueblos íntimamente ligados a la naturaleza a través de sus cosmovisiones, conocimientos y actividades productivas, tales como agricultores permanentes o nómadas, pastores, cazadores y recolectores, pescadores o artesanos, que adoptan una estrategia de uso múltiple de apropiación de la naturaleza;” (Toledo y Barrera-Bassols, 2008: 51).

Históricamente han enfrentado los riesgos y peligros, a través del fortalecimiento de sus capacidades locales como las formas de organización comunitaria y sus usos y costumbres; y las tecnologías y prácticas productivas para adaptarse a contextos de escasez o abundancia de agua: “A pesar de sus limitaciones, desde el territorio actual de México hasta el norte de Chile y Argentina las civilizaciones precolombinas desarrollaron la tecnología necesaria para adaptarse a las condiciones medioambientales locales, basándose en sus conocimientos técnicos para resolver ciertos problemas hidráulicos y prever las variaciones climáticas y los períodos de lluvias estacionales.” (Bates *et al*, 2008: 107)

Así los pueblos indígenas y campesinos juegan un papel estratégico en las acciones de adaptación y mitigación al cambio climático, como son la protección y restauración de bosques, suelos y aguas (Boege, 2008: 244-245). Sin embargo por las condiciones de pobreza y marginación en la que viven los pueblos indígenas y campesinos en los países del sur global (mal llamados países en desarrollo), son considerados como altamente

vulnerables a los efectos del cambio climático (Bates, *et al*, 2008: 4). De allí que las acciones relacionadas con los impactos del cambio climático en la escala local, deben considerar a la población más vulnerable como los pueblos indígenas y campesinos que manejan los bosques y agua en una cuenca.

## **2. POLÍTICAS DE SEGURIDAD HÍDRICA Y FORESTAL EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO**

Bajo un contexto de cambio climático y vulnerabilidad del agua es pertinente indagar sobre las políticas públicas que se han impulsado en México en torno a la seguridad hídrica y restauración de bosques como estrategias a la mitigación al cambio climático. Para ello se exponen los contenidos de ambas políticas, a partir de las fuentes oficiales, con el fin de ver si existe una coherencia y transversalidad entre ellas.

### **2.1 Política de seguridad hídrica y cuencas hidrológicas**

En la medida en que los problemas y conflictos por el agua han sido considerados de interés público<sup>15</sup>, es que se han tratado como un asunto de seguridad nacional. Durante el gobierno de Vicente Fox (2000-2006), las tensiones por el tratado internacional de aguas entre México y Estados Unidos de América se agudizaron frente a una sequía prolongada que afectó el escurrimiento del río Bravo y la disponibilidad de agua en la región norte del país. Ello aunado a un contexto internacional, donde los asuntos del agua demandaban mayor atención de los gobiernos, fue que el presidente Fox declaró en el marco del día mundial del agua (marzo 2004) y como organizador del IV Foro Mundial del Agua (México, 2006), que el agua era un asunto estratégico y de seguridad nacional. Durante su gestión hubo una reforma a la Ley de Aguas Nacionales (abril 2004) donde reforzó la visión de cuenca en la gestión del agua y su importancia en la seguridad nacional (SEMARNAT, 2004: 34 y 35).

En el gobierno de Felipe Calderón (2006-2012) el tema del agua fue un eje importante en las políticas por los efectos negativos del cambio climático en el territorio nacional, que se evidenciaron con los resultados del Reporte del IPCC (Bates, *et al*, 2008): México será uno de los países latinoamericanos más críticos en términos de los cambios en el patrón de precipitación y temperatura, así como de presencia de eventos extremos. La cuestión del agua fue incluida en la agenda de la política pública a largo plazo. En el día mundial del agua de marzo de 2010, el Presidente Calderón presentó la Agenda del Agua 2030 (Conagua, 2011) como una estrategia de largo plazo para poner el agua como un tema central y prioritario y como un asunto de seguridad nacional. Para ello se fijaron metas hasta el año 2030 para: la limpieza de ríos y lagos; control de inundaciones de los asentamientos humanos; accesibilidad y disponibilidad de agua potable en localidades urbanas y rurales; y colección, tratamiento y reuso de las aguas municipales, entre otras.

Entre los objetivos de la Agenda fue tener asentamientos humanos seguros frente a las inundaciones catastróficas, a través de iniciativas y acciones para minimizar los riesgos como: la realización de obras de drenaje pluvial y para el control de avenidas y el ordenamiento ecológico del territorio para evitar la expansión urbana en zonas peligrosas. Otro de los objetivos fue tener ríos limpios, a través de iniciativas y acciones como programas de reforestación y conservación de suelos en cuencas prioritarias para el abasto de agua.

Durante la gestión presidencial de Enrique Peña Nieto (2012-2018), se refrendó el compromiso de la Agenda del Agua 2030 y se plantearon objetivos y líneas de acción en materia de seguridad hídrica a través del Programa Nacional Hídrico (2014-2018), que es el lineamiento central para la política del agua. Para ello partieron de la noción de seguridad hídrica de la Organización de Naciones Unidas: “la capacidad de la población de salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas y de calidad aceptable de agua para sostener los medios de sustento, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación del agua y los desastres relacionados con el agua, y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política” (Conagua, 2014: 57).

Con relación a su transversalidad, se planteó una estrategia nacional de adaptación y mitigación del sector hídrico ante el cambio climático, congruente con la Ley y la Estrategia Nacional de Cambio Climático. De igual manera para incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones se propusieron estrategias como, por

<sup>15</sup> Artículo 7 Bis. VI. Se declara de interés público: La prevención, conciliación, arbitraje, mitigación y solución de conflictos en materia del agua y su gestión (SEMARNAT, 2004: 35).



ejemplo, realizar acciones de restauración hidrológica ambiental en cuencas hidrográficas prioritarias. (Conagua, 2014).

En consecuencia, desde el sexenio de Vicente Fox hasta el de Enrique Peña, el tema del agua fue reconocido como asunto de seguridad nacional y las políticas buscaron abordarse de manera transversal, sobre todo, en materia de adaptación y mitigación al cambio climático. Esto en buena parte fue resultado de la evidencia mundial sobre los efectos del cambio climático en los recursos hídricos, que se presentó en el Reporte del IPCC (Bates *et al*, 2008) y que documenta la vulnerabilidad hídrica del país por las variaciones que se experimentarán en el patrón de precipitación y temperatura, la afectación en la disponibilidad y calidad del agua y la mayor presencia de eventos extremos como sequías e inundaciones.

## **2.2 Política forestal y estrategias frente al cambio climático**

En esta apartado se busca relacionar la política forestal en materia de cambio climático a partir de los acuerdos internacionales y las estrategias que se han implementado en México para cumplir con los compromisos de reducción de emisiones de gases invernadero por la vía de conservar, manejar y restaurar los bosques. La especificidad del caso mexicano es que la mayor parte de los bosques y selvas del país se ubican en territorios indígenas y campesinos y el tipo de tenencia de la tierra dominante es ejidal y comunal. De allí que sea sustantiva la inclusión de la dimensión social en las políticas forestales.

De igual manera se busca analizar la transversalidad de la política forestal con la del agua, a partir de la consideración de la cuenca como una unidad de planeación y gestión del agua y bosques. Lo interesante aquí es que existe un programa federal que integra ambas políticas (agua y bosques) con la de cambio climático, lo cual que permite evaluar la consistencia en el diseño de las políticas federales con la aplicación del programa por cuencas hidrológicas en el territorio nacional.

### **2.2.1 Los acuerdos internacionales en materia de bosque y cambio climático**

Desde la firma del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1997, la comunidad internacional estableció medidas para enfrentar al cambio climático antropogénico a través de reducir las emisiones de gases invernadero que contribuyen al calentamiento global. Una década después en la Conferencia de las Partes (CoP 13) sobre cambio climático de las Naciones Unidas realizada en Bali en 2007, en el Plan de acción se incluyó la relevancia de los bosques en materia de adaptación y mitigación al cambio climático. Además se planteó la necesidad de la cooperación y financiamiento internacional para que los países del sur (en desarrollo) participen en la protección, restauración y manejo sostenible de los bosques para reducir emisiones de gases invernadero por deforestación y degradación, mejor conocido como REDD (ONU, 2008). En la siguiente conferencia de las Partes en Poznan 2008 (CoP 14) se adicionó el símbolo + a REDD para considerar la dimensión humana.

Posteriormente en la conferencia de las Partes de Cancún en diciembre de 2010 (CoP 16), se adoptaron medidas asociadas con el papel de los bosques en la mitigación al cambio climático. Una de ellas se basó en los enfoques de política e incentivos positivos para REDD+, es decir, la reducción de las emisiones por la deforestación y la degradación forestal en los países en desarrollo; y en la función de la conservación, la gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales de carbono en tales países, considerando factores indirectos de la deforestación y degradación (ONU, 2011).

En particular, se enfatizó en la dimensión humana asociada al uso y manejo de los bosques, en las estrategias y acciones en materia de mitigación al cambio climático y en las políticas y los programas forestales en los países en desarrollo. Por ello se señaló la necesidad de considerar, entre otras cosas, los factores indirectos de la degradación y deforestación y aplicar las salvaguardias sociales en proyectos o iniciativas a realizar en materia forestal con pueblos indígenas y comunidades.

El fundamento de las salvaguardias sociales está en la Política Operacional 4.10 (OP 4.10) sobre Pueblos Indígenas implementada por el Banco Mundial (2005), así como la legislación nacional e internacional en materia indígena. En ellas se establecen requisitos procesales para asegurar el acceso y la participación informada de la población indígena en los programas, con financiamiento externo que se pretenden llevar a cabo en sus territorios. Bajo este marco es que varias acciones en materia de reducir las gases de efecto invernadero por la degradación y deforestación y con dimensión humana (REDD+) han sido financiadas por organismos multilaterales como el

Banco Mundial en los países del sur global y han requerido la aplicación de las salvaguardias para asegurar que los proyectos sean aceptados social y culturalmente.

### ***2.2.2 La transversalidad de la política forestal en materia de agua y cambio climático***

Las bases legales de la política forestal en México se encuentran en la Ley de desarrollo forestal sustentable (SEMARNAT, 2003). En ella se declara como de utilidad pública: la conservación, protección y restauración de los ecosistemas forestales y sus elementos, así como de las cuencas hidrológico-forestales; y la ejecución de obras destinadas a la conservación, protección y/o generación de bienes y servicios ambientales. Además la ley considera la transversalidad de políticas públicas para tener un manejo integral de las cuencas, reforestar las zonas de importancia hidrológica, valorar los bienes y servicios ambientales y dar atención a los desastres o emergencias naturales (SEMARNAT, 2003).

La política forestal y sus acciones se expresa a través del Programa Nacional Forestal (SEMARNAT, 2014), cuyo objetivo general es: promover el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales del país, reactivar la economía del sector forestal y mejorar la calidad de vida de los habitantes de las zonas forestales; así como, mantener e incrementar la provisión de bienes y servicios ambientales a la sociedad y reducir las emisiones de carbono generadas por la deforestación y degradación forestal.

Como dicha política es transversal se expresa en otros instrumentos como la Agenda 2030 del Agua donde en la iniciativa para alcanzar ríos limpios, se plantea promover y reforzar los programas de reforestación intensiva asociada a la conservación de suelos en cuencas hidrográficas prioritarias. Esto es porque se reconocen los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques y suelos para garantizar la disponibilidad y calidad del agua en una cuenca, así como para lograr la mitigación al cambio climático y la seguridad hídrica de las ciudades, principalmente (Conagua, 2011).

Igualmente, en la Estrategia Nacional de Cambio Climático, la SEMARNAT (2013) reconoce como una de las medidas de adaptación: la necesidad de conservar y usar de forma sustentable los ecosistemas, restaurar su funcionalidad ecohidrológica y mantener los servicios ambientales que proveen a la sociedad. Entre sus acciones destacan: reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático de los ecosistemas a través del manejo y aprovechamiento sustentable, la protección, la conservación y la restauración principalmente en regiones prioritarias y cuencas hidrográficas; y desarrollar programas de adaptación para mantener e incrementar la disponibilidad del agua superficial y subterránea, con un enfoque de manejo integral de cuencas hidrográficas.

En cuanto a las medidas de mitigación, la Estrategia plantea como uno de sus ejes y líneas de acción: el impulso de mejores prácticas agropecuarias y forestales para incrementar y preservar los sumideros naturales de carbono. Así reconoce el papel de los bosques como reservorios de carbono, cuya destrucción y degradación es una de las fuentes más importantes de emisiones a nivel global; y la necesidad de lograr su conservación y manejo sustentable para aumentar la cantidad de carbono almacenada (SEMARNAT, 2013).

De esta manera la Estrategia queda expresada a través del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (SEMARNAT, 2014), donde se plantea como uno de sus objetivos: conservar, restaurar y manejar sustentablemente los ecosistemas garantizando sus servicios ambientales para la mitigación y adaptación al cambio climático como el secuestro de carbono, el servicio hídrico, la conservación del hábitat, la disminución de los impactos de desastres y la formación de suelo. Entre sus estrategias y líneas de acción para alcanzar este objetivo se tienen: la restauración y gestión integral de cuencas hidrológicas a través de establecer reservas de aguas nacionales superficiales para la protección ecológica, realizar acciones para incrementar la recarga de acuífero, focalizar los esquemas de pago por servicios ambientales en zonas estratégicas para la conservación de cuencas y ecosistemas.

## **3. PROYECTO BOSQUE Y CAMBIO CLIMÁTICO: EL PROGRAMA DE RESTAURACIÓN FORESTAL POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS PRIORITARIAS**

Como resultado de los acuerdos internacionales en materia de cambio climático y en particular de la CoP16 celebrada en México en 2010, es que surge en México el Proyecto "Bosques y cambio climático". Éste es una iniciativa financiada por el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (que forma parte del Grupo Banco



Mundial) para que el gobierno federal, a través de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) logre la consolidación de programas forestales prioritarios, el fortalecimiento institucional y la ejecución de estrategias globales de REDD+ (programa de Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y la Degradación de los Bosques con la dimensión humana) en diferentes regiones del país.

El apoyo financiero es por cinco años, con la particularidad de que el gobierno mexicano aplique las salvaguardas sociales en aquellas regiones forestales donde hay presencia de población indígena, para garantizar la aceptación y adecuación del proyecto en contextos culturales diversos de la geografía nacional. Los resultados sobre su efectividad aún están por evaluarse (2012-2017), no obstante, se hizo una evaluación a la mitad del mismo, en lo referente a su vertiente de consolidación de programas forestales prioritarios (Ávila, *et al*, 2014a y 2014b).

### **3.1 Programa de restauración forestal en cuencas hidrográficas prioritarias en México**

El programa de restauración forestal en cuencas hidrográficas prioritarias surgió en 2009 como una iniciativa innovadora de la CONAFOR que modificó el modelo tradicional de reforestación, asociado con planeación deficiente, amplia dispersión y tasa de sobrevivencia baja y media; por un modelo de restauración forestal basado en la cancelación paulatina del esquema tradicional de reforestación, la identificación por cuencas prioritarias, la elaboración de proyectos por cuencas hidrográficas prioritarias, la reorientación presupuestal y de metas, la elaboración de reglas de operación por proyecto y la convocatoria local por proyecto (CONAFOR, 2012a).

A diferencia de los anteriores programas de reforestación cuya temporalidad era anual y no proporcionaban incentivos en el corto y mediano plazo para conservar las plantaciones forestales; el programa propone proyectos multianuales con paquetes tecnológicos adecuados para cada cuenca, pagos compensatorios para incentivar el cambio de uso de suelo, y la posibilidad de obtener beneficios económicos de las reforestaciones, a través de su registro como plantaciones comerciales (Del Ángel, 2012).

Así, el objetivo propuesto del programa es restaurar áreas forestales degradadas de cuencas hidrográficas que son identificadas como prioritarias para el desarrollo del país, por su aportación hídrica para la población y mitigación al cambio climático. También el programa busca contribuir en la generación de ingresos de las comunidades rurales beneficiarias, apoyar a la diversificación de las actividades productivas, la producción de servicios ambientales y mejorar las capacidades de organización y gestión para el manejo comunitario de los recursos forestales.

Para alcanzar estos objetivos el programa ofrece un paquete de apoyos consecutivos durante cinco de años: obras de conservación de suelos, reforestación, fertilizaciones, pagos para el mantenimiento, cercado y vigilancia de la reforestación, y pagos para la protección de la reforestación contra plagas e incendios. Incorpora un esquema compensatorio, denominado “costo de oportunidad de la tierra”, el cual ofrece una compensación económica a los propietarios para que dejen de realizar actividades agrícolas y pecuarias en predios con degradación o deterioro forestal, con el fin de restaurarlos. Además el programa asigna partidas para el fortalecimiento comunitario con el fin de que se puedan realizar ordenamientos ecológicos comunitarios, reglamentos forestales con participación social, capacitación y formación de recursos humanos, entre otros. Esto es porque se reconoce que los bosques son manejados y conservados, principalmente, por comunidades indígenas y campesinas (CONAFOR, 2012a).

Cabe señalar que para la CONAFOR los pueblos indígenas son actores fundamentales en las estrategias de conservación de los bosques y la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) señala que 39% de los bosques y 60% de las selvas se encuentran en regiones indígenas. Además de que 41% del total de población indígena vive y dependen los bosques, lo que representa 5 millones de habitantes. En contraste con la riqueza natural que poseen, la mayoría de los pueblos indígenas viven en condiciones de alta pobreza y desigualdad social. Eso hace que la atención del programa de restauración incluya opciones productivas en materia forestal a la población.

El programa abarca varias cuencas o sistemas de microcuencas hidrológicas prioritarias que se ubican principalmente en el centro del país, a lo largo del Eje Neovolcánico transversal, región fisiográfica que alberga bosques y es asiento de la mayor parte de la población de México: Cutzamala (Michoacán y Estado de México) y La Marquesa (Estado de México y Distrito Federal); Pátzcuaro-Zirahuén (Michoacán); Meseta Purépecha (Michoacán); Izta-Popo (Puebla, Estado de México, Morelos y Tlaxcala); Nevado de Toluca (Estado de México); y Chichinautzin (Morelos, Estado de México y Distrito Federal). Pero también se encuentra en el occidente:



Lerma-Chapala (Jalisco y Michoacán) y Cuencas costeras (Jalisco); en el golfo como Pico de Orizaba (Veracruz y Puebla) y Cofre de Perote (Veracruz y Puebla); en el norte como Región Tarahumara (Chihuahua) y Río Nazas (Durango); y en el sur como Chimalapas (Oaxaca y Chiapas).

Cabe señalar que el programa REDD+ se aplica en el estado de Chiapas, la costa de Jalisco y la Península de Yucatán en un esquema diferente al programa de restauración forestal: no hay pago de costo de oportunidad de la tierra sino por los servicios ambientales (que incluyen los hidrológicos y conservación de la biodiversidad). Sin embargo en ambos programas se deben aplicar las salvaguardias sociales.

Finalmente, el programa tiene dos vertientes de política pública: seguridad hídrica y mitigación al cambio climático en materia forestal y con enfoque de cuencas, por lo que se aborda el caso del Sistema de Microcuencas Hidrológicas Prioritarias Cutzamala-La Marquesa. La razón es porque fue la experiencia piloto para impulsar la restauración de bosques a nivel nacional y donde se aplicaron por primera vez las salvaguardas sociales por el gobierno federal, a través de la CONAFOR (Ávila, *et al*, 2014a).

### **3.2 Programa de restauración forestal en cuencas hidrográficas prioritarias “Cutzamala-La Marquesa”**

El programa de restauración forestal en cuencas hidrográficas prioritarias ubicado en el sistema de microcuencas hidrográficas prioritarias “Cutzamala-La Marquesa”, abarca una extensión de 618,488 hectáreas y 60 municipios distribuidos en: los estados de Michoacán (15) y México (38), así como 7 delegaciones del Distrito Federal (hoy Ciudad de México). Su delimitación está en función del papel que juega como zona abastecedora de agua a la Ciudad de México, a través de los sistemas de trasvase de las cuencas del Lerma y Cutzamala; así como por la cobertura forestal y niveles de degradación de los bosques por cambios de uso de suelo agrícola y pecuario. El área potencial definida por la CONAFOR para la restauración forestal es de 421,922 ha (CONAFOR, 2012b: 27). Con ello se espera incidir en acciones concretas para asegurar la recarga de acuíferos y la captura de carbono.

La población objetivo del programa son los propietarios privados y las organizaciones o núcleos agrarios (ejidales y comunales) que sean dueños o poseedores de terrenos forestales, preferentemente forestales, o temporalmente forestales. Es decir, que los terrenos presenten procesos de deterioro, por la degradación de suelos, pérdida de cobertura de vegetación forestal o áreas perturbadas por incendios, enfermedades, plagas forestales y desastres naturales, que se encuentren ubicados en microcuencas prioritarias por su importancia ambiental y/o forestal.

El sistema de microcuencas hidrográficas prioritarias “Cutzamala-La Marquesa” se ubica en una región que fue parte de Mesoamérica y donde se asentaron pueblos de origen otomí, mazahua y nahua. La presencia indígena aún es importante, por ejemplo, en el año 2010, 52% de total de habitantes era indígena. Es decir, 1'225,905 personas estaban clasificadas por la CDI e INEGI como indígenas de un total de 2'364,576 en el Sistema mencionado.

Con base en la información anual de los apoyos del programa Cutzamala-La Marquesa, se observa que en el periodo 2009-2013 se destinaron 27,296 ha para restauración forestal e implicó un apoyo de \$657,609,313. Esta cifra rebasó la meta propuesta por CONAFOR para 2012 de 24,000 ha. Ambos datos son indicadores del buen cumplimiento del programa, en cuanto a cobertura destinada a restauración como de apoyos económicos brindados (CONAFOR, 2012b: 29).

Uno de los ejes del programa es la aplicación de las políticas operacionales del Banco Mundial, las salvaguardias sociales, que se enfoca a pueblos indígenas. En este caso corresponde a pueblos de origen mazahua, otomí y nahua que están incluidas en el área elegible del sistema de microcuencas hidrográficas prioritarias “Cutzamala-La Marquesa”.

Con base en los datos disponibles de la CONAFOR en su página de Internet y la CDI sobre localidades indígenas, se observa que entre 2009 y 2013 se incluyeron 12,493 ha para restauración en zonas indígenas, donde: 10,165 ha correspondieron a la subregión del Cutzamala y 2,328 ha a la subregión Marquesa. En términos de montos económicos destinados para tal fin, en conjunto fueron \$303'066,705 para ese periodo. A nivel porcentual representó 46% del área destinada a restauración forestal, así como 46% del monto económico total asignado para todo el sistema de microcuencas. Tanto en cobertura (extensión) como en apoyos económicos, el programa tuvo un impacto positivo en las zonas indígenas. Cerca de la mitad de las asignaciones fueron de beneficio para las localidades, que de acuerdo con la tipología de la CDI e INEGI son consideradas como indígenas.



#### 4. REFLEXIONES FINALES

En términos generales el Programa de restauración forestal por cuencas hidrográficas prioritarias es la síntesis de las políticas forestales para garantizar la seguridad hídrica y emprender acciones frente al cambio climático. La visión de cuenca hidrológica como unidad de planeación y gestión ambiental de agua, suelos y bosques se expresa a través de las acciones que incluye el programa: la conservación de suelos, la reforestación de zonas degradadas por actividades agrícolas y pecuarias, y la protección contra incendios y plagas, entre otros. El horizonte del programa es multianual para dar seguimiento a las acciones realizadas como replantaciones donde no hubo supervivencia de árboles, protección de nuevas áreas forestales y mantenimiento de las obras realizadas.

La dimensión humana es considerada en el programa tanto en algunos de los rubros que apoyan (fortalecimiento comunitario y manejo forestal de las plantaciones) como en los incentivos económicos que ofrece para la restauración forestal: pago de costo de oportunidad de la tierra, pago de jornales y materiales, y pago de servicios técnicos forestales, entre otros. Además de que incluye la aplicación de las salvaguardias sociales con el fin de garantizar la consulta a los pueblos indígenas en términos de la pertinencia del programa, así como para lograr adecuaciones que le permitan reducir o mitigar los impactos sociales adversos en las acciones de restauración forestal.

Hasta este nivel parece interesante el programa, sin embargo presenta varios retos para lograr una incidencia real en la seguridad hídrica, restauración de bosques y mitigación al cambio climático:

- Desde una perspectiva de cuenca, la seguridad hídrica no solo debe garantizarse en acciones de protección y restauración de suelos y bosques en las partes altas, sino también con el uso y manejo sustentable del agua en las partes medias y bajas, que garantice una cantidad y calidad adecuada para los ecosistemas y los usuarios urbanos y rurales. Además de que existan estrategias de saneamiento integral de la cuenca para que se evite la contaminación y deterioro ecológico de ríos y cuerpos de agua. Es limitado actuar en las partes altas de las cuencas, si en las partes medias y bajas se hace un mal uso del agua (desperdicio y fugas) o se contaminan las aguas por ausencia de saneamiento y manejo de las descargas urbanas, industriales y agrícolas. O peor aún si se transfiere agua de otras cuencas para sostener procesos de urbanización e industrialización, que se apoyan en prácticas insustentables en el uso y manejo del recurso. Las implicaciones sociales y ambientales del trasvase de agua conllevan al deterioro de los ecosistemas y la calidad de vida de los habitantes que viven en la cuenca afectada. Bajo este esquema la seguridad hídrica de una cuenca beneficiada por el trasvase, implica la inseguridad de la otra cuenca.
- La concepción de restaurar los bosques en las partes altas de las cuencas para garantizar servicios ecosistémicos como la provisión de agua es adecuada. El problema de la región de estudio analizada es que el sistema de microcuencas hidrográficas prioritarias Cutzamala-La Marquesa se delimitó a partir de las necesidades de agua de la Ciudad de México, y no de la población que habita o depende de los bosques de esa región, es decir, los pueblos indígenas y campesinos. De hecho varios de ellos tienen problemas serios de escasez de agua, como lo han manifestado con acciones colectivas los pueblos mazahuas del estado de México. Aunado a esto, en esa región se ubican las obras de trasvase de agua conocidas como Sistemas Lerma y Cutzamala, que son la antítesis de la gestión integrada del agua por cuenca y causantes de la inseguridad hídrica de la población local (sobre todo indígena) que ha visto restringido su acceso al agua para asegurar el abasto a la gran urbe. En consecuencia, la seguridad hídrica debe buscarse no solo para las ciudades, sino también para el campo. Es decir, agua para todos bajo un esquema justo de compensación, que no se restrinja a un pago por el servicio ambiental ofrecido, sino por medio de acciones y programas públicos que logren mayor equidad social (por ejemplo, construcción de infraestructura de agua y apoyo para su mantenimiento y operación en zonas forestales de alta pobreza).
- En materia de mitigación al cambio climático, la responsabilidad de conservar y restaurar los bosques recae en los pueblos indígenas y campesinos, que son vistos como actores clave en las iniciativas asociadas

a la restauración y conservación de bosques. El punto aquí es que con los esquemas de apoyos e incentivos económicos que se ofrecen para conservar los bosques (pago de servicios ambientales) y restaurar las zonas degradadas por actividades agrícolas y pecuarias (pago del costo de oportunidad de la tierra), hay una restricción en el uso y manejo de estas áreas. En los hechos puede ser el paso a la privatización de sus territorios forestales; así como la entrada a un esquema monetario de valorización de los servicios que ofrecen los ecosistemas, donde la sociedad mayor (urbana-industrial) exige como usuaria la provisión de los mismos a los actores locales (rurales). Es decir, se refuerza el esquema de poder y control de los bosques y territorios indígenas y campesinos desde otros espacios de decisión: nacional e incluso transnacional. Aquí la compensación debe darse en función de los beneficios que reciben los usuarios urbanos e industriales, principalmente, y no solo por las partidas monetarias que tengan destinadas para este fin los gobiernos estatales y nacionales. En este sentido se requiere evaluar la pertinencia de aplicar impuestos verdes a los beneficiados por la recarga de otras cuencas, con el fin de destinar esos recursos para el desarrollo de esas zonas forestales, que generalmente están habitadas por población campesina e indígena muy pobre.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Al equipo de investigación de campo que participó en el proyecto de la UNAM-CONAFOR (2013-2014) “Evaluación del impacto social del programa especial de cuencas hidrográficas Cutzamala-La Marquesa”, en particular a: Eduardo Luna, Paola Suárez, Pedro Velázquez, Mayra Chávez, Gustavo Alcocer, Anahí Olmos, Diana Manrique y Sofía García.

## 6. LITERATURA CITADA

Arreguín F., coord. 2015. *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

Ávila P., et al. 2014<sup>a</sup>. *Evaluación Social Regional del Sistema de Microcuencas Prioritarias Cutzamala-La Marquesa*, Proyecto de Bosques y Cambio Climático del Programa de Restauración Forestal en Cuencas Hidrográficas Prioritarias, Comisión Nacional Forestal-UNAM, México.

Ávila P., et al. 2014<sup>b</sup>. *Evaluación Social Regional del Sistema de Microcuencas Prioritarias Pátzcuaro-Zirahuén*, Proyecto de Bosques y Cambio Climático del Programa de Restauración Forestal en Cuencas Hidrográficas Prioritarias, Comisión Nacional Forestal-UNAM, México.

Banco Mundial. 2005<sup>b</sup>. *Política operacional 4.10 Pueblos Indígenas. Anexo A. Evaluación social*.

Bates, B.C., et al. 2008. *El Cambio Climático y el Agua*. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra.

Boege E. 2008. *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México*/ Instituto Nacional de Antropología e Historia: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, México.

CMSS. 2017. *Las comunidades indígenas, custodias de los bosques y la biodiversidad*, Comunicado del Consejo Mexicano de Silvicultura Sostenible, 6 agosto.

CONAFOR. 2012<sup>b</sup>. *Marco de Procedimientos para Restricciones Involuntarias de acceso al uso de recursos naturales en Áreas Naturales Protegidas (MPRI)*, SEMARNAT, México.

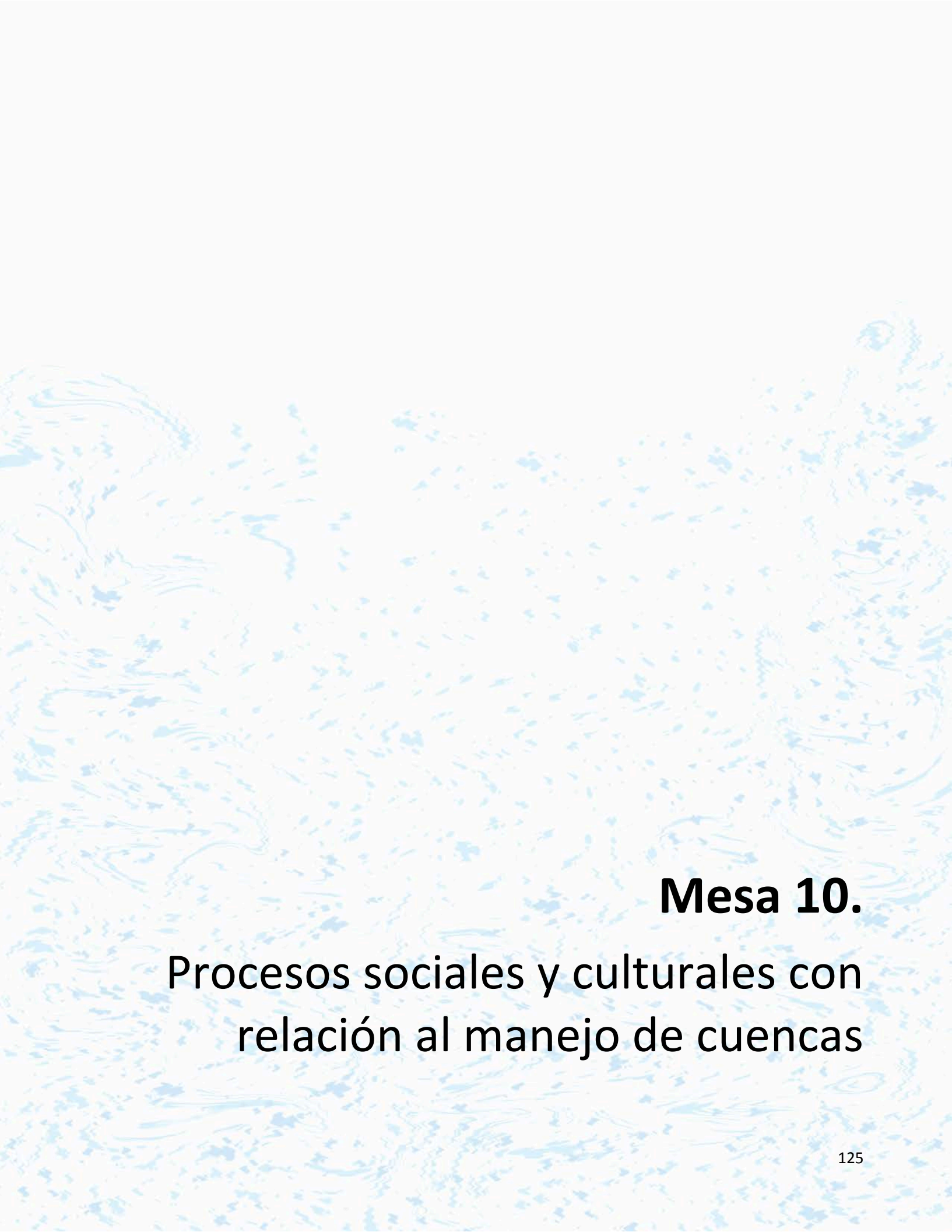
CONAFOR. 2012. *Programa de restauración de cuencas hidrográficas prioritarias*, Gerencia de suelos de la Comisión Nacional Forestal. SEMARNAT, México.

CONAFOR. 2014. *Pueblos indígenas preservan bosques y selvas en México*: comunicado de Jorge Rescala, director de la Comisión Nacional Forestal, Agencia Notimex, El Economista, 9 agosto.

CONAGUA. 2011. *Agenda del Agua 2030*, SEMARNAT, México.



- CONAGUA. 2014. *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*, SEMARNAT, México.
- Cotler H., et .al. 2013. *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*, SEMARNAT, Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable y Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas, México.
- Del Angel, G., coord. 2012. *La Comisión nacional Forestal en la historia y el futuro de la política forestal de México*, Centro de Investigación y Docencia económicas-Comisión Nacional Forestal, México.
- Maass, J.M. 2003. “Principios generales sobre manejo de ecosistemas” en Sánchez, Ó., E. Vega-Peña, E. Peters y O. Monroy-Vilchis. *Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México*. INE, U. S. Fish & Wildlife Service, Ford Foundation, México, pp. 117-136
- ONU- Convención Marco sobre el cambio Climático. 2008., *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 13º período de sesiones, celebrado en Bali del 3 al 15 de diciembre de 2007*, Convención Marco sobre el Cambio Climático, FCCC/CP/2007/6/Add.1, 14 de marzo.
- ONU-Convención Marco sobre el cambio Climático.2011. *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 16º período de sesiones celebrada en Cancún del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010*, Adición. Segunda parte: Medidas adoptadas por la Conferencia de las Partes en su 16º período de sesiones, FCCC/CP/2010/7/Add.1, 15 de marzo de 2011.
- SEMARNAT. 2003. “Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable ” en *Diario Oficial de la Federación*, 25 de febrero, Primera Sección, México.
- SEMARNAT. 2004. “Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales” en *Diario Oficial*, 29 abril, Primera sección, México.
- SEMARNAT. 2010. *Visión sobre REDD+: hacia una estrategia nacional*, Comisión Nacional Forestal, México.
- SEMARNAT. 2013. *Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40*, Gobierno de la República, México.
- SEMARNAT. 2014. *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018*, Gobierno de la República, México.
- Toledo V.M y N. Barrera-Bassols. 2008. *La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*, Icaria, Barcelona.

The background of the slide features a close-up, high-resolution image of water ripples. The ripples are concentric and spread across the entire frame, creating a textured, organic pattern. The colors are primarily light blue and white, with some darker blue accents where the ripples are more pronounced.

## **Mesa 10.**

### **Procesos sociales y culturales con relación al manejo de cuencas**



## **ID-017: GOBERNANZA INTERCOMUNITARIA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO**

Valentina Eduwiges Estrada Guevara  
Universidad Autónoma de Chiapas

### **RESUMEN**

La investigación se realizó de 2015 a 2017 y se centró en estudiar las relaciones entre 22 comunidades proveedoras y usuarias del agua para uso doméstico pertenecientes a los municipios de Las Margaritas y Maravilla Tenejapa Chiapas y ubicadas a lo largo de una pendiente, que va de los 2000 a los 200 metros sobre el nivel medio del mar, quienes aportan conocimientos y mano de obra para sostener un andamiaje de organización que permite el ejercicio del derecho humano al agua. En el análisis de los procesos de gestión se identificaron tres fases, denominadas como: gestión de la fuente, de la obra y del paisaje. La información se obtuvo en once sistemas de agua entubada (SAE), siendo éste la unidad de análisis. Se combinaron dos instrumentos de investigación, uno de corte etnográfico con dos modalidades de entrevista semiestructurada (grupo focal o agente clave), el otro consistió en una matriz de variables ambientales, adaptada de los protocolos de evaluación ecológica rápida de Michael T. Barbour y otros (1999), para colectar datos sobre la salud de los ecosistemas en las áreas focales donde se ubican las fuentes de agua (manantiales, norias y pozos). La gobernanza se conceptualiza desde la perspectiva de los bienes comunes y los ocho principios de diseño metodológico que Elinor Ostrom (2011), propuso para caracterizar a los casos exitosos en el manejo de los Recursos de Uso Común (RUC).

Los resultados indican que la gobernanza intercomunitaria del agua para uso doméstico se alcanza solo cuando se respetan los protocolos socioculturales y se toman en cuenta las equivalencias de las relaciones histórico-políticas entre las comunidades que derivan en el control territorial, lo cual permite acceder a condiciones propicias para la toma de decisiones y acuerdos que trasciendan el corto plazo y las coyunturas político-electorales de los municipios.

**Palabras clave:** gobernanza intercomunitaria, derecho al agua, protocolos socioculturales, salud ambiental.

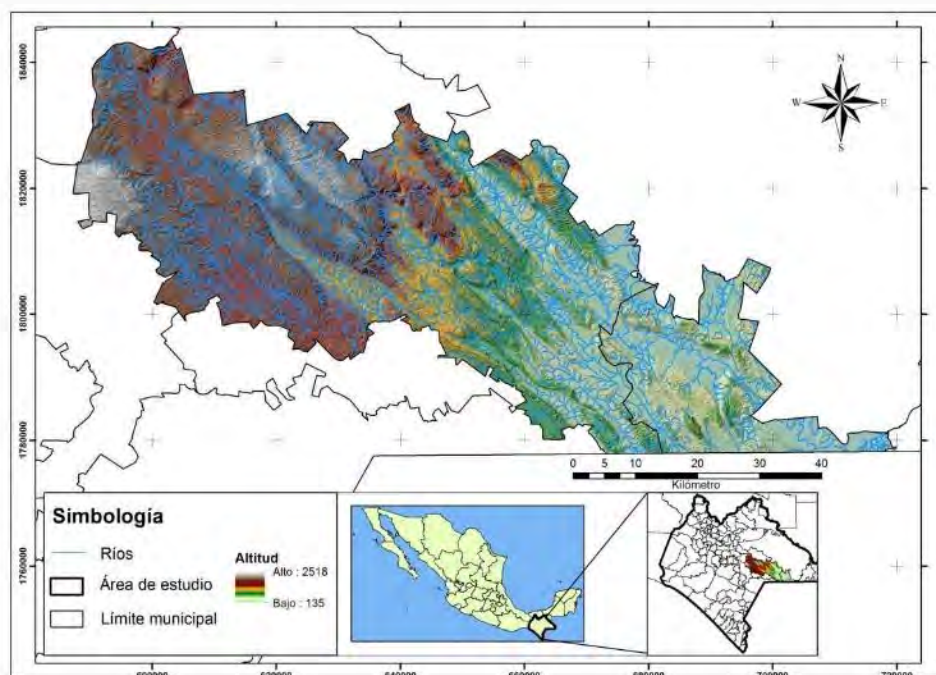
### **INTRODUCCIÓN**

#### **La región de estudio**

La región de estudio se encuentra ubicada en la macro cuenca Grijalva-Usumacinta que, por su tamaño, la cantidad de agua que fluye y su extensión territorial es considerada la séptima región hidrológica del planeta, (ECOSUR, 2015) es también la región menos contaminada de México y su importancia ecológica trasciende las fronteras nacionales. De acuerdo con García y Kauffer (2011), 60% de esta cuenca se encuentra en Guatemala y 40% en México, al ser una cuenca transfronteriza, ninguno de los dos países opera en ella con visión de conjunto, ya que solo consideran la parte ubicada en su territorio.

La región abarca los municipios de Las Margaritas y Maravilla Tenejapa Chiapas. (Ver mapa 1). Los intervalos de temperatura van de los 14 a los 33 grados centígrados, con precipitaciones que van de 1000 a 3500 mm., con clasificación de climas diferenciados: para la zona alta es templado y semi cálido subhúmedo y para la zona baja es cálido húmedo, en ambos casos con abundantes lluvias en verano. La mayor parte presenta relieve de pendientes, cañadas 60%, lomeríos 30% y el resto mesetas con laderas tendidas y terrenos planos en zonas bajas. (PEOT, 2010) La región colinda al norte y poniente con el municipio de Chanal al norte y noreste con Altamirano y Ocosingo, al este y sureste con La Independencia, La Trinitaria y Comitán y al sur con la república de Guatemala.





Mapa 1: La región de estudio (elaboración propia)

En los dos municipios habitan 122,935 personas de acuerdo con datos del Censo del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2010); de estos, 54,072 (44%) se auto adscriben a alguno de los pueblos originarios. De acuerdo con esta misma fuente, hay 23,680 viviendas habitadas y de estas 5060 (21%) están ubicadas en la cabecera municipal de las Margaritas, que puede ser considerada población urbana y donde solo el 1% de las viviendas carecen de agua entubada, mientras que 18,620 viviendas (79%) están ubicadas en medio rural y el 35% de ellas, (5586) no disponen de este servicio. El 65%, que dispone del servicio cerca de las viviendas está sujeto a los acuerdos entre proveedoras y usuarias, por lo que con frecuencia éste no es permanente en todos los casos, debido a que se ven afectados por estos arreglos informales entre comunidades o grupos que ejercen control de las fuentes de agua. El CONEVAL reporta 39.1 y 22.8 por ciento de viviendas sin agua respectivamente. En cuanto a los índices de marginación ambos municipios aparecen en la escala de “muy alto”, Las Margaritas tiene 92.9% de su población en pobreza, 32.2% es moderada y 60.8 extrema con 33.9 de pobreza alimentaria en tanto que Maravilla Tenejapa tiene 95.8 en pobreza, 27.6 moderada, 68.2 extrema y alimentaria 45.7%.

La región de estudio se caracteriza por una gran diversidad sociocultural y prácticas organizativas propias de comunidades originarias, la más importante de las prácticas comunes a todas las culturas presentes, es la costumbre de tomar las decisiones en una asamblea general comunitaria y nombrar comités para cada función de gestión o control específica. Esta característica común ha permitido que operen mecanismos organizativos más o menos estables que mantienen viva la red cotidiana de convivencia al disponer de procedimientos para aclarar situaciones relacionadas con información y comunicación y por lo tanto prevenir o manejar conflictos en forma continua.

### **La gestión del agua para uso doméstico en regiones rurales e indígenas**

En situaciones similares, en distintas regiones de América Latina existen esfuerzos sostenidos de la población rural y suburbana que están activos en el ejercicio del derecho humano al agua y que complementan o sustituyen la acción del Estado, (Zurbriggen 2012) operando al margen o en el margen de la política pública. A diferencia de las ciudades, donde la población se limita a pagar su recibo por el servicio, en estos ambientes periféricos, la gestión del agua para uso doméstico está integrada por conjuntos de acciones que realizan las comunidades desde que inicia el proceso de negociación para usar una fuente de agua con objeto de conectar un sistema de agua entubada y/o acarrearla desde la fuente hasta las viviendas, hasta que se establecen acuerdos operativos para qué



estas operaciones permanezcan. El sistema de agua entubada (SAE) es la obra que se instala, generalmente con financiamiento público, y como mínimo consta de un subsistema de captación que va de la fuente a un depósito-tanque que concentra el agua y un subsistema de distribución que la lleva desde un tanque de almacenamiento hasta las viviendas, en la mayoría de los casos estudiados aquí, funciona por gravedad y en pocas ocasiones por bombeo.

Los procesos de gestión tienen tres fases claras delimitadas: 1) gestión de la fuente, (negociaciones entre comunidades usuarias y proveedoras potenciales) 2) gestión de la obra (construcción de infraestructura) y: 3) gestión del paisaje, (acuerdos para el mantenimiento y la conservación de la fuente y de la infraestructura. La gestión del paisaje es el nivel micro regional (microcuenca) es equivalente de la gestión ambiental de la cuenca hidrológica, es la escala humana comunitaria e intercomunitaria, los ámbitos de gestión en los cuales las personas concretas tienen influencia porque en esa dimensión transcurre su vida cotidiana. En cada una de las fases se toman decisiones. El foco analítico de este proyecto fueron esas decisiones y los acuerdos de las agencias actuantes desde las comunidades y los distintos órdenes de gobierno implicados.

Las rutas de gestión son diversas, en las primeras dos fases es frecuente la intervención de los regidores, como integrantes del cabildo, que hacen puente entre los ayuntamientos y las comunidades para la asignación de presupuestos, en cumplimiento de compromisos políticos asumidos a cambio del respaldo durante las elecciones municipales, en otros casos la gestión es directa mediante actas de asambleas, a través de los comisariados ejidales o los agentes municipales ante la presidencia municipal, es frecuente que se involucren como gestores funcionarios del ayuntamiento ante otras instancias gubernamentales, sobre todo porque el costo de las obras rebasa sus posibilidades, mientras que en el gobierno federal hay instituciones y programas con recursos destinados a este propósito. Ocasionalmente las comunidades acuden directamente a las instancias del gobierno federal ante la falta de atención en los municipios cuando son de alguna su afiliación partidista distinta al ganador de las elecciones locales. En el pasado cuando la región estaba incomunicada por vía terrestre, (década de los 70s y 80s del siglo pasado) los primeros SAE en la región fueron financiados por organismos no gubernamentales y religiosos, preferentemente de la iglesia católica y sus fundaciones, en la actualidad todas las obras han sido construidas con financiamiento público.

### **Los indicadores cualitativos en los procesos de gestión del agua**

Los indicadores de gestión están ligados a las políticas públicas y pueden ser cuantitativos o cualitativos, cuando se trata de indicadores cualitativos, es necesario partir de un concepto comprensivo de las políticas públicas como construcción social. Desde esta perspectiva Roberto Martínez Nogueira (1995:3) señala que éstas se conciben como campos de acción, que pueden ser entendidas como redes de acciones o inacciones, es decir omisiones, como conjuntos de decisiones e incluso a veces, básicamente como reacciones adaptadas a determinadas circunstancias que no incluyen orientaciones explícitas, es decir que responden a temas o situaciones emergentes.

Este concepto de políticas públicas es distinto al positivista, que propone una intencionalidad articulada, sistémica y coherente desde el Estado hacia la sociedad, coincidimos con el enfoque de Martínez ya que suponemos que existe desarticulación entre algunas de las acciones de los distintos órdenes de gobierno y una creciente fragilidad institucional, en los aspectos relacionados con el tema, ante lo cual es ineludible la contextualización, la negociación y la adaptación, con objeto de tener al menos cierto éxito en la implementación. Al respecto Pedro Medellín desde la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) ha identificado ciertas características de la implementación de las políticas públicas en países con regímenes que presentan fragilidad institucional y señala enfáticamente que en tales circunstancias el éxito no depende tanto de las capacidades de los operadores sino del conocimiento del contexto y de que sean incluidos los intereses de quienes tienen control territorial, que es una expresión real de poder político. (Medellín, 2004:20)

Es por eso que retomamos el concepto de Martínez, que señala que las políticas públicas son “comprensiones sociales relativamente compartidas, construidas a través de manifestaciones de propósitos y de su reformulación y reinterpretación dinámica mediante procesos que algunos autores denominan como retroalimentación y otros como reflexividad” Martínez (1995:4). Desde este enfoque, los indicadores

cualitativos inmersos en los procesos de gestión del agua para uso doméstico nos permiten dar cuenta de los procedimientos operantes, que responden al propósito de que el Estado cumpla la responsabilidad jurídica establecida en el Artículo 4º. Constitucional, para lo cual pone en marcha determinadas políticas sectoriales que generan procesos que deben adaptarse a las condiciones imperantes en la región. Estos procesos se manifiestan como cadenas de acciones que permiten comprender las rutas mediante las cuales se toman decisiones y acuerdos para dotar de agua entubada a la población de las comunidades usuarias, considerando las fuerzas actuantes desde cinco dimensiones (jurídica, política, sociocultural, hidrográfico-ecológica y funcional-administrativa).

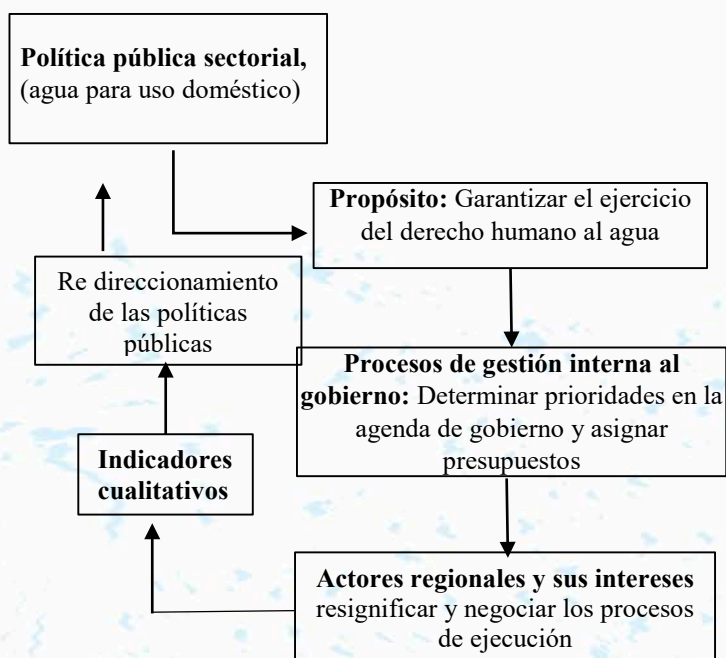


Figura 1: Evaluación de políticas públicas a través de indicadores cualitativos de gestión

Consideramos los hallazgos, como una red de acciones que al ser visibilizadas nos permiten comprender el fenómeno estudiado desde la unidad de análisis que es el sistema de agua entubada. Una de las estrategias para comunicar hallazgos desde esta perspectiva y facilitar la comunicación entre académicos de distintas disciplinas científicas, es la presentación de iconos y modelos visuales que relacionen simultáneamente todos los elementos de tal modo que se distinga espacialmente tanto la ubicación como la dimensión de cada concepto en su relación con los otros en el entramado. Esta estrategia seguimos a efecto de que sea visual la complejidad y las intersecciones en las cinco dimensiones. (Ver esquema general, p. 5)

### ¿Qué es la gobernanza intercomunitaria del agua para uso doméstico?

Es el conjunto de decisiones políticas, acuerdos estratégicos y responsabilidades asumidas entre comunidades proveedoras y usuarias del agua para uso doméstico que facilitan, favorecen y/o garantizan el ejercicio del derecho al agua de forma permanente, por periodos de mediano y largo plazo, la gobernanza intercomunitaria del agua para uso doméstico existe cuando se estabilizan los acuerdos en los procesos de gestión, trascendiendo la lógica política coyuntural de corto plazo. Se entienden también como gobernanza los acuerdos políticos regionales que facilitan el respeto a las reglas establecidas y el cumplimiento de las responsabilidades y obligaciones contraídas por las partes, estos acuerdos políticos regionales pueden o no incluir a los ayuntamientos.



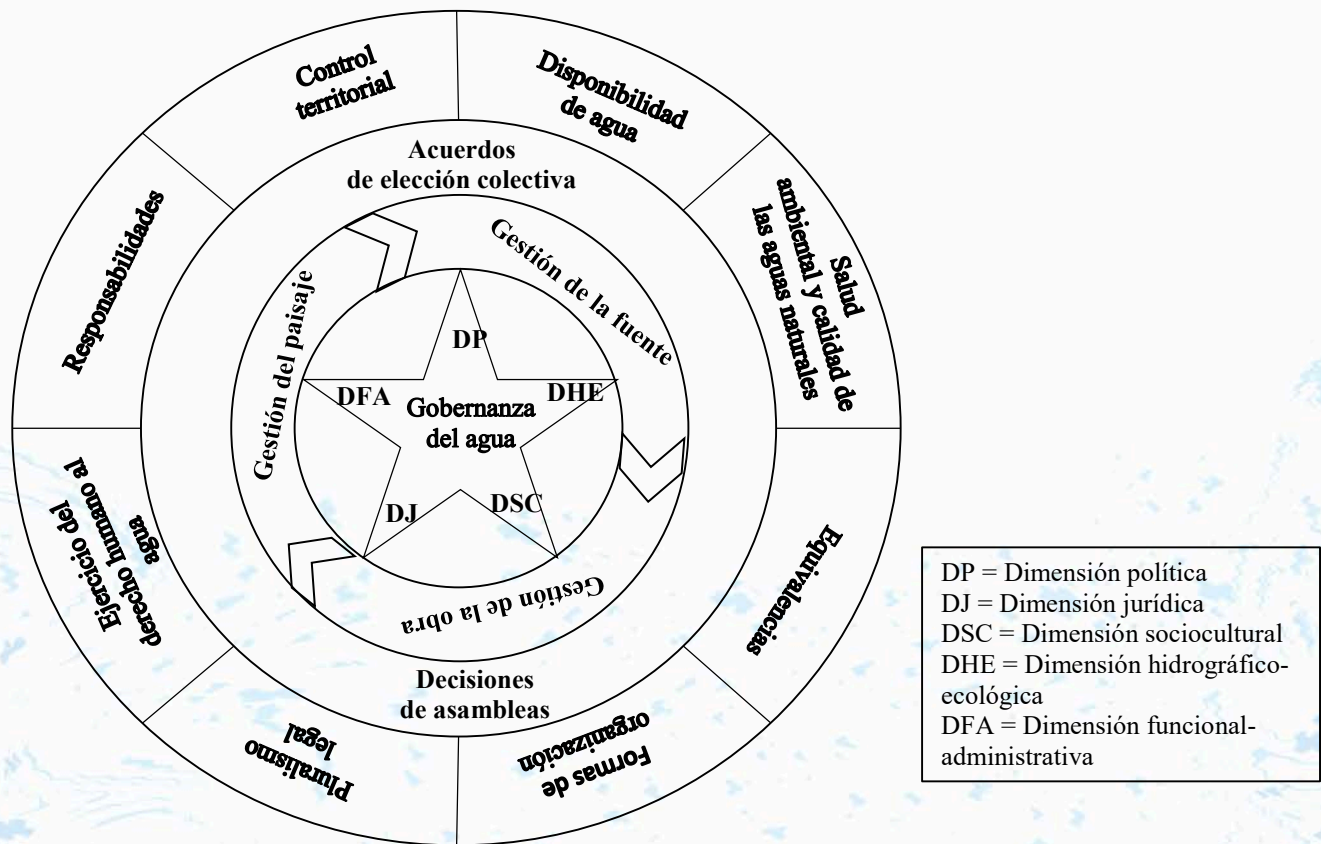


Figura 2: Esquema general de la investigación

### Principios de la gobernanza desde la perspectiva de los bienes comunes

Elinor Ostrom propuso ocho principios que favorecen el éxito de la autogestión y permiten consolidar la gobernanza: 1) Que las decisiones de los comunes no sean determinadas por intereses ajenos, externos o extraños, 2) Que el sistema de costo/beneficio sea conocido y comprendido por todos, 3) Que la normatividad relativa al ejercicio de apropiación y disposición de los bienes comunes sea relevante, es decir que se ajuste a las condiciones locales, 4) Que los comunes tengan facultades para establecer y modificar acuerdos y reglas de adaptación a los cambios 5) Que haya una vigilancia efectiva del cumplimiento de las normas y acuerdos 6) Que haya sanciones cuando se presenten violaciones a las normas y acuerdos 7) Que existan mecanismos de solución de conflictos 8) Que se reconozca (valide) por parte del gobierno, la capacidad de decisión de la comunidad sobre su territorio en favor de los intereses colectivos y se respalden las acciones de manejo sustentable y conservación. (Ostrom, 2011:165)

Los ocho principios son aplicables a la gobernanza intercomunitaria del agua en esta investigación, mediante una adaptación a las condiciones de operación de los procesos de gestión que se definen en las relaciones entre los actores que participan, pues la propia Ostrom en la última obra colectiva en la que participó antes de morir denominada “Trabajar juntos, acción colectiva, bienes comunes y múltiples métodos en la práctica” (Ostrom et. al 2010) reconoce que no hay un solo método para indagar sobre los bienes comunes, agrupa en dos estrategias generales el acercamiento a la investigación interdisciplinaria: 1) El estudio de casos para profundizar en la problemática de lo local y 2) la comparación de muchos casos con métodos estadísticos para encontrar patrones y regularidades, aunque sin pretensiones de generalizar leyes. Así fue como obtuvo los 8 principios anteriormente mencionados.

### Materiales y métodos

La investigación se planteó como objetivo general explicar comprensivamente las relaciones entre comunidades proveedoras y usuarias en once sistemas de agua entubada para uso doméstico en los municipios de Las Margaritas y Maravilla Tenejapa Chiapas desde las dimensiones jurídica, política, hidrográfico-ecológica, socio-cultural, y funcional administrativa, para lo cual se realizó un estudio explicativo de corte cualitativo transversal, durante el periodo enero 2015 a diciembre de 2017 que determinó en qué casos hay gobernanza intercomunitaria del agua. Como objetivos específicos se estipularon: analizar las relaciones intercomunitarias, el entramado de quehaceres de los actores, los procesos de toma de decisiones, normas y reglas aplicadas, la distribución de responsabilidades y las implicaciones sociales, jurídicas, obstáculos y facilidades para acceder a la gobernanza, así como consecuencias para la conservación/deterioro de los ecosistemas.

Se identificaron en la acción social nueve indicadores.

- Acuerdos de elección colectiva
- Control territorial
- Equivalencias
- Pluralismo legal
- Formas de organización
- Responsabilidades
- Disponibilidad de agua
- Ejercicio del derecho humano al agua (asequibilidad, suficiencia, calidad, equidad y permanencia)

El segundo instrumento fue una escala estimativa de evaluación de la salud ambiental en las áreas focales de las fuentes de agua, (manantiales, norias y pozos) adaptada de los Protocolos de Evaluación Ecológica Rápida de Michael T. Barbour y otros (1999) operados con éxito en acciones de monitoreo de recursos naturales desde la década de 1980, en programas exitosos de restauración de riveras de ríos en los que han participado activamente tribus indígenas, estudiantes, organizaciones sin fines de lucro y ciudadanos voluntarios. La escala estimativa usada considera las cuatro condiciones de estado de los ecosistemas propuesta por Borbour: Óptimo, sub óptimo, marginal y pobre.

En la escala de valoración visual, se entiende que aplica la categoría “óptimo” a las áreas focales donde el ecosistema no ha sido dañado y los flujos de materia y energía mantienen ese fluir y auto organización sin perturbaciones o daños significativos, aplica la categoría “sub óptimo” a las áreas que exhiben un daño o perturbación que sin embargo no afecta aun el ciclo total en forma significativa ni pone en riesgo la circulación de elementos a condición de no exceder la capacidad de resiliencia del ecosistema en cuestión. (Bourbour et. al 1999, Murcia y Guariguata 2014, Clewell & Aronson 2013).

En cambio aplica la categoría “marginal” cuando los flujos de materia y energía son precarios y se observan perturbaciones significativas en ecosistema en los cuales se han degradado ciertas funciones ecológicas en detrimento de otras y no obstante haber afectado seriamente la circulación de nutrientes, el ecosistema sigue funcionando en esa precariedad y sosteniendo la vida de algunas de especies clave, con frecuencia en entornos que han excedido su capacidad de recuperación a un ecosistema de referencia histórico y a veces operan mediante sustituciones alternativas en ecosistemas emergentes de menor complejidad. (Hobbs *et.al*, 2006)

Finalmente aplica la categoría “pobre” a aquellos sitios en los cuales predomine la degradación y estén alterados seriamente los elementos físico-químicos y las funciones ecológicas a tal grado que los procesos vitales se encuentren, además de sobreviviendo en condiciones precarias, en franco deterioro generalizado. En total se evaluaron 17 áreas focales de trece manantiales, dos norias, una laguna y un pozo profundo.



## Resultados obtenidos

Indicadores	Variables	Resultados
<b>Acuerdos de elección colectiva</b>	Limites	En todos los sistemas de agua entubada están definidos los límites
	Ajustes	6 sistemas han sido ajustados 5 por proveedoras y 1 por usuarias
	Costo/beneficio	2 proveedoras insatisfechas 12 usuarias insatisfechas
	Mecanismos de solución de conflictos	En todos los sistemas tienen facultades para establecer mecanismos de solución de conflictos
	Multas y sanciones	En 9 de los 11 sistemas tienen multas y sanciones establecidas En 8 de los 11 sistemas las multas y sanciones son efectivas
	Ubicación de comunidades	17 de las 22 comunidades fueron condicionadas en su ubicación por una predecesora En todos los casos la prioridad de colonización fue la búsqueda de tierras de cultivo, nadie supuso que el agua se iba a escasear con el paso del tiempo, por ello no era prioritario
	Permisos de uso y permisos de paso	En 9 de los 11 sistemas se cumplieron las condiciones de la proveedora Hubo negociación en 9 de los 11 sistemas
	Acuerdos fundadores	El protocolo “dar y pedir el agua” se aplicó en 7 de los 11 sistemas. En 2 de los 7 se aplicó durante los ajustes y la renegociación de términos. El gobierno intervino en 4 de los 11 sistemas, de los cuales 2 se ajustaron posteriormente Los sistemas ajustados no establecían plazos antes del ajuste, ni establecían que eran indefinidos
	Representatividad	En 6 de los 7 sistemas de la zona baja los gestores son los comisariados acompañados de los agentes municipales y en uno es el patronato intercomunitario regional validado por las asambleas. En 2 de los 4 sistemas de la zona alta los gestores son los agentes municipales En dos de los 4 sistemas de la zona alta los comités se relacionan directamente con el ayuntamiento
<b>Equivalencias</b>	Valor y costo del agua	En 5 de los 11 sistemas la percepción del valor y costo del agua difiere entre proveedoras y usuarias
<b>Formas de organización</b>	Poder de las asambleas	En 8 de los 11 sistemas son las asambleas generales de las comunidades quienes toman las decisiones sobre los procesos de gestión y en 3 son los gestores con los ayuntamientos
	Relaciones entre comisariados ejidales y agentes municipales	En la zona baja predomina la tendencia de que las asambleas generales definan y controlen la relación entre comisariados y agentes municipales mientras que en la zona alta la relación se define por la competencia política
	Funciones de patronatos y comités del agua	En 8 de los 11 sistemas hay actores que se hacen cargo de la fase “gestión del paisaje” y en 3 no, es en estos 8 sistemas donde se cumple con los 8 principios de la gobernanza señalados por Ostrom
<b>Ejercicio del derecho humano al agua</b>	Asequibilidad	En ningún caso el costo del agua rebasa el 3% del ingreso. Por lo tanto el agua es asequible

	Equidad	La distribución es equitativa en 8 de los 11 casos y es inequitativa en 3 SAE
	Suficiencia	Aunque en 3 de los 11 casos los usuarios reciben cantidades de agua menores a las recomendadas por los organismos internacionales, la percepción es de suficiencia debido a que se asocia con el esfuerzo de acarreo
	Calidad	Las características físico químicas y organolépticas de las aguas naturales indican que son aptas para consumo humano en 16 de las 17 muestras. En cuanto a calidad microbiológica y presencia de pesticidas, no hay certeza, se requieren análisis, por lo tanto los resultados sobre calidad del agua no son concluyentes
	Permanencia	El servicio ha sido intermitente en los últimos 15 años en 9 de los 11 casos y está ausente en uno de los casos, por lo tanto, el servicio no cumple con el requisito de permanencia. Las permanencias mayores son de 10 años y solamente en 3 SAE
<b>Pluralismo legal</b>	Reconocimiento de derechos	En todos los casos se reconocen los derechos de elección colectiva por parte los tres órdenes de gobierno
	Intervención del gobierno en conflictos de los SAE	El gobierno solo interviene a solicitud de parte
<b>Responsabilidades</b>	Acciones de monitoreo , reparaciones y mantenimiento	En 8 de los 11 sistemas hay mecanismos y responsables de realizar reparaciones y mantenimiento de fuentes, tuberías y tanques, estos son los SAE donde hay gobernanza
	Responsabilidades de conservación	Solamente en 2 de los 11 sistemas se asumen responsabilidades de conservación
	Financiamiento de obras	Todos los SAE fueron instalados con financiamiento publico
	Sostenimiento del SAE	5 de los 11 sistemas se auto sostienen En 3 de los 11 sistemas las erogaciones son mixtas entre las comunidades y los ayuntamientos 3 de los 11 sistemas no tienen acuerdos de sostenimiento
<b>Disponibilidad de agua</b>	Memoria social del ecosistema	En la zona baja se asocia el deterioro ambiental con las actividades antropogénicas En la zona alta no se asocia
	Relatos de fuentes	En 7 de los 11 sistemas se identificaron fuentes que se agotaron o se volvieron insuficientes por el crecimiento poblacional En 4 sistemas se mencionaron fuentes que no se usaron más debido a conflictos
<b>Salud ambiental</b>	Vegetación/ perturbación	Predomina la categoría sub óptimo en la zona baja y marginal en la zona alta
	Ecosistema de referencia	3 ecosistemas de referencia
	Altitud	Entre 396 y 1520 m.s.n.m
	Pendiente	Entre 0 y 45 grados centígrados
	Azolvamiento	En 11 de las 17 fuentes
	Escurrimiento	En 11 de las 17 fuentes
	Erosión	En 10 de las 17 fuentes
<b>Calidad de las aguas naturales</b>	Potencial de hidrógeno	15 muestras en el rango de 7, una menor que 7 y una mayor a 10



	Partículas (sólidos disueltos totales)	Predominan las aguas con dureza media dos presentan agua dura
	Temperatura	Entre 20 y 28 grados centígrados
	Salinidad	Entre .08 y .33
	Color	Incolora en 15 de 17 muestras
	Olor	Inodora en 16 de 17 muestras
	Sabor	Sinsabor en 15 de 17 muestras

Cuadro 1: Resumen de resultados de la investigación

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### El debate en torno a las responsabilidades y capacidades del Estado y de las comunidades rurales e indígenas

¿Puede el Estado mexicano garantizar el ejercicio del derecho al agua en sus márgenes y periferias?

La evidencia obtenida en la región de estudio, indica que no. Los ayuntamientos como representantes del municipio, orden de gobierno jurídicamente responsable de garantizar en nombre del Estado mexicano el ejercicio del derecho humano al agua, no puede hacerlo debido a que no tiene acceso directo a las fuentes de agua porque no controla el territorio, son las comunidades proveedoras quienes definen quien accede o es excluido del servicio. La influencia de los ayuntamientos llega hasta la posibilidad de negociar con dichas comunidades los accesos a cambio de prebendas y beneficios de corto plazo, sin embargo, con frecuencia los acuerdos estipulados bajo estos términos caducan al término del periodo de gobierno implicado, lo que no favorece la gobernanza entendida como estabilidad de mediano y largo plazo.

En relación con los aspectos socioculturales estudiados, la gobernanza intercomunitaria del agua en las comunidades proviene de dos fenómenos sociopolíticos históricos y propios de México: por un lado, de las reglas del Estado relacional (Jessop, 2014) prevalecientes en el país, incluyendo las regiones indígenas, cuya característica central es el predominio de los aspectos políticos y las negociaciones coyunturales y, por el otro, de la fragilidad del régimen político (Medellín, 2004) que se traduce en un déficit de gobernabilidad.

Las normas locales están basadas generalmente en equivalencias intercomunitarias entre permisos de uso y de paso de diversa índole y entre los cuales se considera el protocolo sociocultural de “pedir y dar el agua”, estas son las que determinan quienes tienen acceso a las fuentes y quienes son excluidas de ellas, además remiten a la historia de la relación entre dos comunidades determinadas desde su asentamiento en el territorio (décadas de los años sesenta y ochenta del siglo XX) y cuando las gestiones desde alguno de los tres órdenes de gobierno violenta estos procedimientos, acelerando las negociaciones para cumplir con plazos institucionales de ejercicio presupuestal, afectan la gobernanza intercomunitaria e incorporan condiciones propicias para que las negociaciones sean coyunturales y no estratégicas, favoreciendo al Estado clientelar en detrimento de la institucionalización.

La gobernanza intercomunitaria puede ser simétrica o asimétrica, es simétrica cuando las equivalencias entre la proveedora y la usuaria incluyen compromisos de uso de las tierras en ambos sentidos y se condicionan mutuamente, es asimétrica cuando es la comunidad proveedora quien pone las condiciones por ejercer el control de las áreas focales donde están ubicadas las fuentes y la usuaria debe aceptar las condiciones o renunciar al servicio. No todas las relaciones están basadas en acuerdos pecuniarios, estos se presentan preferentemente en la gobernanza asimétrica.

### Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de doctorado otorgada y al Doctorado en estudios Regionales de la universidad Autónoma de Chiapas.

### Referencias bibliográficas

Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D. and Stribling, J. B. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U. S. Washington, D. C.: Environmental Protection Agency; Office of Water.

Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos.

García, A. y Kauffer, E. (2011). Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: un acercamiento a su delimitación y problemática general. *Frontera Norte* No. 23, 45, enero-junio, p. 31.

Hobbs, R. *et. al.* (2006). Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global ecology and biogeography*, 15(1), 1-7.

Instituto Nacional de Estadística e Información Geográfica (2010). *Censo Nacional de Población*.

Instituto Nacional de Estadística e Información Geográfica y CONEVAL (2010). *Compendios de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Las Margaritas y Maravilla Tenejapa, Chiapas.

Jessop, B. (2014). El Estado y el poder. Esteban Torres y María Fernanda Feliu. *Utopía y praxis latinoamericana*. Universidad de Zulia, Maracaibo Venezuela, Universidad Lancaster Reino Unido.

Martínez, R. (1995) *Análisis de las políticas públicas*, Instituto Nacional de Administración Pública, Buenos Aires pp. 4.6

Medellín, P. (2004). *La política de las políticas, públicas: propuesta teórica y, metodológica para el estudio de las políticas públicas en países de frágil institucionalidad*, División de Desarrollo Social de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Murcia, C. y Guariguata, M. (2014). *La restauración ecológica en Colombia: tendencias, necesidades y oportunidades*. Bogotá, Colombia. Centro para la Investigación Forestal Internacional (Cifor). Creative Commons.

Ostrom, E. (2011). *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva*. Distrito Federal, México: Fondo de Cultura Económica-Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México. p. 165.

Poteete, Amy R. (2012) Trabajar juntos: acción colectiva, bienes comunes y múltiples métodos en la práctica / Amy R. Poteete, Marco A. Janssen, Elinor Ostrom; traducción Lili Buj Niles con la colaboración de Leticia Merino. --México: UNAM, CEIICH, CRIM, FCPS, FE, IIEc, IIS, PUMA; IASC, CIDE, Colsan, CONABIO, CCMSS, FCE, UAM,

Zurbriggen, C. (2012). Repensando la Gobernanza en América Latina. *Congreso Uruguayo de Ciencia Política*. Montevideo, Uruguay: Facultad de Ciencias Sociales.

**Páginas consultadas:** [www.ecosur.mx/blog/cuenca-grijalva-bondades-y-desastres/](http://www.ecosur.mx/blog/cuenca-grijalva-bondades-y-desastres/) Video: 3 de diciembre de 2015.



## ID-034: REGENERANDO EL TEJIDO NATURAL Y SOCIAL EN LA CUENCA ALTA DEL VERDE-ATOYAC, OAXACA, MÉXICO

Juan José Consejo Dueñas <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de la Naturaleza y la Sociedad de Oaxaca (INSO) , [jjconsejo@hotmail.com](mailto:jjconsejo@hotmail.com)

Francisco Roldán <sup>a</sup>

<sup>a</sup> INSO, [foldanv@hotmail.com](mailto:foldanv@hotmail.com)

### RESUMEN

Desde hace doce años, el INSO ha desarrollado *Aguaxaca*, una iniciativa innovadora e integral para enfrentar la crisis hídrica de la región. En vez de entenderla como resultado de la escasez, caracterizamos el reto de los Valles Centrales como demasiada agua rápida -que llega y se va velozmente durante la época de lluvias- y falta de *agua lenta*, agua que era parte integral de ecosistemas sanos y podía ser usada a lo largo del año. Como resultado del crecimiento urbano descontrolado y la consiguiente degradación de los bosques y cultivos circundantes, la precipitación en la época de lluvias se ha vuelto agua rápida que deja pronto la cuenca alta llevándose suelos fértiles, causando inundaciones y azolves y dejando de alimentar los mantos freáticos que son la fuente principal de agua en la región.

La perspectiva de *Agua Lenta* es idea original del INSO y captura las dimensiones técnicas y sociales de soluciones para la crisis del agua que afecta a miles de millones de personas en todo el mundo, pues nos dice lo que tenemos que hacer y con quién: por una parte impulsar prácticas sustentables de uso del suelo transforman el agua rápida en lenta. Por la otra, involucrar a todos los actores del *ciclo hidrosocial*, y las comunidades de la parte alta de la cuenca juegan un papel central.

La cuenca del Río Verde-Atoyac abarca 20% de la extensión del estado y concentra más de la tercera parte de su población. Es ampliamente reconocida su importancia ecológica y social, pero serios procesos de deterioro están afectándola. Por ello, en 2013 elaboramos un plan articulador de acciones públicas, privadas y sociales sobre agua: Un Plan Común para un Bien Común. En él se da atención especial a los Valles Centrales, tanto las montañas de la Cordillera Norte como la zona conurbada de la ciudad de Oaxaca. La cordillera es parte de la Sierra Juárez, una de las regiones terrestres prioritarias para la conservación en México (Conabio, 2004), y ahí se ubica el parque nacional Benito Juárez. Es en montañas y valles donde se ha enfocado *Aguaxaca* con la meta de alcanzar un *ciclo hidrosocial* en equilibrio.

### Palabras clave:

Agua lenta, ciclo hidrosocial, ruralizar las ciudades

## 1. INTRODUCCIÓN

### a) El Plan Común

UN PLAN COMÚN PARA UN BIEN COMÚN es una iniciativa nacida de la sociedad civil, que definimos como un proceso articulador de esfuerzos públicos, sociales y privados en la cuenca. El plan busca un cambio fundamental en nuestra actitud social hacia el agua, así como soluciones imaginativas que permitan simultáneamente resolver los graves problemas de los Valles Centrales y la cuenca en general y favorecer una mejoría en las condiciones de vida de sus habitantes. Los trabajos del plan incluyeron investigación participativa e integral que nos diera una buena imagen natural y social de cuenca, concertación local e institucional, y socialización y difusión de las propuestas, todo acompañado de esfuerzos de concienciación sobre el agua en el campo y la ciudad.

## **b) La condición de la cuenca**

Con sus 18,260 km<sup>2</sup>, la cuenca del Río Verde-Atoyac (CRVA) tiene casi la quinta parte de la extensión del estado de Oaxaca, incluye 243 municipios y concentra 36% de su población. Se caracteriza por una enorme complejidad, riqueza y heterogeneidad, desde los puntos de vista biológico, ecológico, social y cultural. Su accidentado terreno va desde altas montañas hasta el nivel del mar e incluye valles, sierras, y cañones, pasando por llanuras y lomeríos con multitud de climas. Alberga gran variedad de plantas y animales, varias de ellas exclusivas de Oaxaca. La importancia biológica y ecológica de la CRVA es tal que incluye seis de las regiones terrestres prioritarias para la conservación en México, las cuales cubren 61% de toda su extensión. (Consejo, 2014).

La CRVA hospeda seis pueblos originarios, además de poblaciones afroamericanas en la costa, y tiene dos mil 815 localidades. En su territorio se ha dado una larga relación entre la tierra, el agua y la gente, que en algunos lugares, como los Valles Centrales o el Valle de Nochixtlán, se remonta a por lo menos diez mil años atrás. Tal relación depende de las condiciones naturales, como la cantidad de lluvia o las maneras en que escurre el agua desde las montañas hacia las partes bajas, pero también de la matriz cultural del momento histórico, ya sea indígena, española o la modernización desarrollista, cada una con sus visiones, conocimientos, técnicas y controles sociales. En tiempos recientes la relación se ha modificado drásticamente, hasta poner en riesgo la viabilidad ecológica de la región. El bagaje cultural de los pueblos, incluyendo valores tradicionales como el respeto por la naturaleza y el tequio, se mantiene en buena parte y parece haber una correlación positiva entre los territorios de pueblos originarios y los sitios con bien conservados. Estimamos que 69% de la extensión total de la cuenca es de tenencia comunal y 12 % ejidal.

Serios y rápidos procesos de cambio y deterioro están afectando a la naturaleza y la población de la CRVA, en particular cambios de uso del suelo que implican deforestación y la erosión consiguiente, rápido crecimiento demográfico, desintegración social y productiva, migración. Hoy hay más gente, se ha concentrado más, y ha ido abandonando el campo modificando formas de vida y percepciones sociales. El crecimiento urbano desordenado es especialmente patente en los Valles Centrales, que ya concentran la mitad de los habitantes de la CRVA.

La contaminación es el más grave de los problemas. Es casi nulo el tratamiento de aguas servidas: si bien tenemos al menos 58 plantas de tratamiento, 90% de ellas no funciona y suelen convertirse en fuentes de contaminación. También lo es el uso creciente uso de agroquímicos. Son amenazas adicionales varios mega proyectos de riego, represas y minería, que se acentuarán con el cambio climático. Como consecuencia, más de 200 especies de plantas y animales vertebrados se consideran amenazadas o en peligro de extinción. Y a pesar de que casi dos tercios de la superficie de la cuenca corresponden a áreas prioritarias de conservación a nivel nacional, la superficie con algún estatus de protección legal no alcanza siquiera 4% (Consejo, *op. Cit.*).

Nuestro conocimiento de la naturaleza y la sociedad en la cuenca sigue siendo fragmentario e insuficiente, y los saberes tradicionales de las comunidades se erosionan a medida que avanza la instauración indiscriminada de sistemas de producción modernos. En general, atestiguamos en la cuenca una concentración urbana descontrolada a expensas del entorno rural, con sus consecuencias: contaminación, hacinamiento, sobreexplotación de agua, escasez de alimentos de calidad.

Atañen al agua muchas leyes e instituciones; en la parte legal tenemos desde la Constitución y los tratados internacionales, hasta las leyes federales, estatales y municipales, así como reglamentos y normas oficiales. Hay cambios positivos recientes en la legislación, como el reconocimiento constitucional al derecho humano al agua o la norma mexicana sobre caudal ecológico, pero en general se requieren modificaciones profundas en enfoques, integración y aplicación. Por otro lado, el andamiaje administrativo, con las excepciones de rigor, es ineficiente, corrupto y fragmentario y en él predomina una visión orientada a la infraestructura.

## **c) El ciclo hidrosocial en los Valles Centrales**

Llamamos ciclo hidrosocial a la integración del aspecto social y el hidrológico en un solo proceso en el que el agua influye en las comunidades humanas y a la vez es afectada por ellas. Luego de analizar la información disponible sobre precipitación, evapotranspiración, infiltración y escurrimiento, así como los usos humanos del



agua, podemos concluir no sólo que sabemos muy poco del ciclo hidrosocial en los Valles Centrales, sino que los modelos y los datos que actualmente emplean las instituciones oficiales tienen tales limitaciones que los vuelven casi obsoletos como instrumentos sólidos de planeación y administración del agua.

#### **d) Hacia un ciclo hidrosocial en equilibrio**

Son muchas las personas, instituciones y organizaciones que identificamos como actores del plan y es compleja la tarea de concertarlas. Vemos también que hay multitud de iniciativas en marcha por parte de comunidades, sus autoridades y la sociedad civil. Hay que visibilizarlas y articularlas en torno a una visión común.

Ante la condición crítica de la cuenca debemos revisar nuestras percepciones y actitudes. En vez de problemas, nuestro origen indígena, la ruralidad y la dispersión poblacional deben ser vistos como oportunidades: la diversidad étnica está todavía asociada a un importante patrimonio de conocimientos; vivir en el campo implica sólidos lazos con la tierra y el agua, capacidad de producir alimentos y un fuerte tejido social; habitar pequeñas comunidades tiene la posibilidad de arreglos políticos más autónomos.

## **2. MÉTODOS Y ACTIVIDADES**

Los métodos usados en *Aguaxaca* abarcan distintos rubros:

- Los conceptos de teoría de sistemas aplicados a la ecología (Odum, 1969), y las técnicas corrientes de ordenamiento territorial y planeación y manejo de cuencas hidrológicas (Términos de Referencia de Procymaf, 2004; British Columbia Commission on Resources and Environment, 1994; López *et al.*, 1998; McKinnon *et al.*, 1990)
- La evaluación crítica de las técnicas de acercamiento rural participativo (Molnar, 1989), y la aplicación conceptual de las respuestas alternativas a la crisis ambiental (Banruri, 1988), así como el enfoque interdisciplinario de análisis de comunidades campesinas de Toledo y Barrera (Toledo, 1984).
- Los principios y actividades aplicados ya en los proyectos hidrológicos de INSO, como el *Programa de Regulación Ecológica de la Cuenca de Manialtepec*, *Un Plan Común para un Bien Común*, y en el proyecto original *Aguaxaca* (Consejo, 1999).
- En relación con las técnicas alternativas de ahorro de agua y energía se usó el Manual de Técnicas de Defensa Ecológica editado por el INSO (López *et al.*, 1998), y manuales equivalentes.

Las actividades para regenerar el tejido social y ambiental incluyen:

- **Concertación.** Fortalecimiento del *Foro Oaxaqueño del Agua* e instauración del *Programa de Solidaridad Hídrica* y el Fondo para la Seguridad Hídrica.
- **Regeneración de Cañadas.** Instauración de buenos ejemplos con efectos medibles de contagio de 4 sitios: El Pedregal, La Mesita, El Fortín, El Crestón.
- **Buen Uso del Agua y Producción Sustentable.** Apoyo técnico de 12 proyectos productivos o regenerativos comunitarios en cañadas de la Cordillera Norte.
- **Hogares Sustentables.** Instauración piloto de 2 ejemplos demostrativos de casas familiares
- **Concienciación y difusión.** Mejoramiento de la información, la participación y la responsabilidad de todos los usuarios del agua en la cuenca para lograr su conservación.
- Continuación del registro del sistema piloto de **monitoreo hidrológico** de la cuenca alta.

### 3. RESULTADOS

#### Beneficiarios:

Directos, 4 mil personas; los productores involucrados en el buen uso del agua y la producción sustentable y sus familias, y quienes participan directamente en proyectos de tecnología alternativa, ahorro de agua, cosecha de lluvia.

Indirectos, 80 mil personas; 30 Comunidades y colonias donde se instauraron módulos o programas, que se beneficiarán del ahorro del agua, la disponibilidad de productos agropecuarios y el mejoramiento ambiental local. En otro nivel de beneficiarios indirectos están los 800 mil habitantes de la cuenca alta.

#### Impactos más relevantes:

- Se realizaron 14 asamblea del Foro Oaxaqueño del Agua.
- Participación en otros espacios de concertación como la Comisión de Cuenca de los Ríos Atoyac y Salado y el Comité Técnico Asesor del Fortín, ambos presididos por el INSO.
- Destaca especialmente el otorgamiento del prestigioso reconocimiento internacional Lush Spring Prize 2019 en la categoría de Proyectos Establecidos para la Regeneración Social y Ambiental.
- Ejecución de programas de los centros demostrativos La Mesita y El Pedregal y de los parques ecológicos estatales El Crestón y El Fortín.
- Acompañamiento técnico a proyectos de buen uso del agua.
- Actividades de comunicación, concienciación y educación ambiental, línea en la que el proyecto tuvo resultados excepcionales, alcanzando en promedio más de 200% de avances sobre las metas originales.

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En 1986, como acción de resistencia al establecimiento de un McDonald's en Roma, Carlo Petrini y un grupo de activistas dieron origen al movimiento *Slow Food* (Comida Lenta), que se opone a la estandarización del gusto en la gastronomía y busca recuperar el disfrute del tiempo que hemos perdido en la sociedad industrial moderna. Hoy esta filosofía se ha extendido a todo el mundo, propone recuperar la función de la comida como elemento de unión y gozo familiar y comunitario, el apoyo a la cocina regional y tradicional, la producción en pequeña escala y sin agroquímicos, y la sustentabilidad.

Por el enfoque de nuestro trabajo en el Instituto de la Naturaleza y la Sociedad de Oaxaca, sentimos gran afinidad con el movimiento de comida lenta, ya que coincidimos en impulsar la práctica de una calidad de vida distinta, basada en el respeto a los ritmos naturales. Nuestro proyecto *Aguaxaca* trabaja desde hace años en los Valles Centrales para lograr un cambio de paradigmas al evocar el sentido sagrado del agua y su calidad de elemento frágil y precioso, para regenerar el tejido natural y social de la Cuenca (López y Consejo, 2012).

En 2012, mientras realizábamos los estudios de *Un Plan Común para un Bien Común* (Consejo, 2014) y analizábamos cómo se mueve el agua en los Valles Centrales --los caminos del agua--, nos dimos cuenta de que la metáfora de la comida rápida podía aplicarse muy bien al agua: la sociedad industrial no sólo ha acelerado el trabajo, la producción y la distribución de comida, sino que ha producido drásticos cambios en el ciclo del agua o *ciclo hidrológico*, que ilustramos en la figura 1<sup>16</sup>. Hemos podido así refinar la comprensión de la crisis hídrica de

---

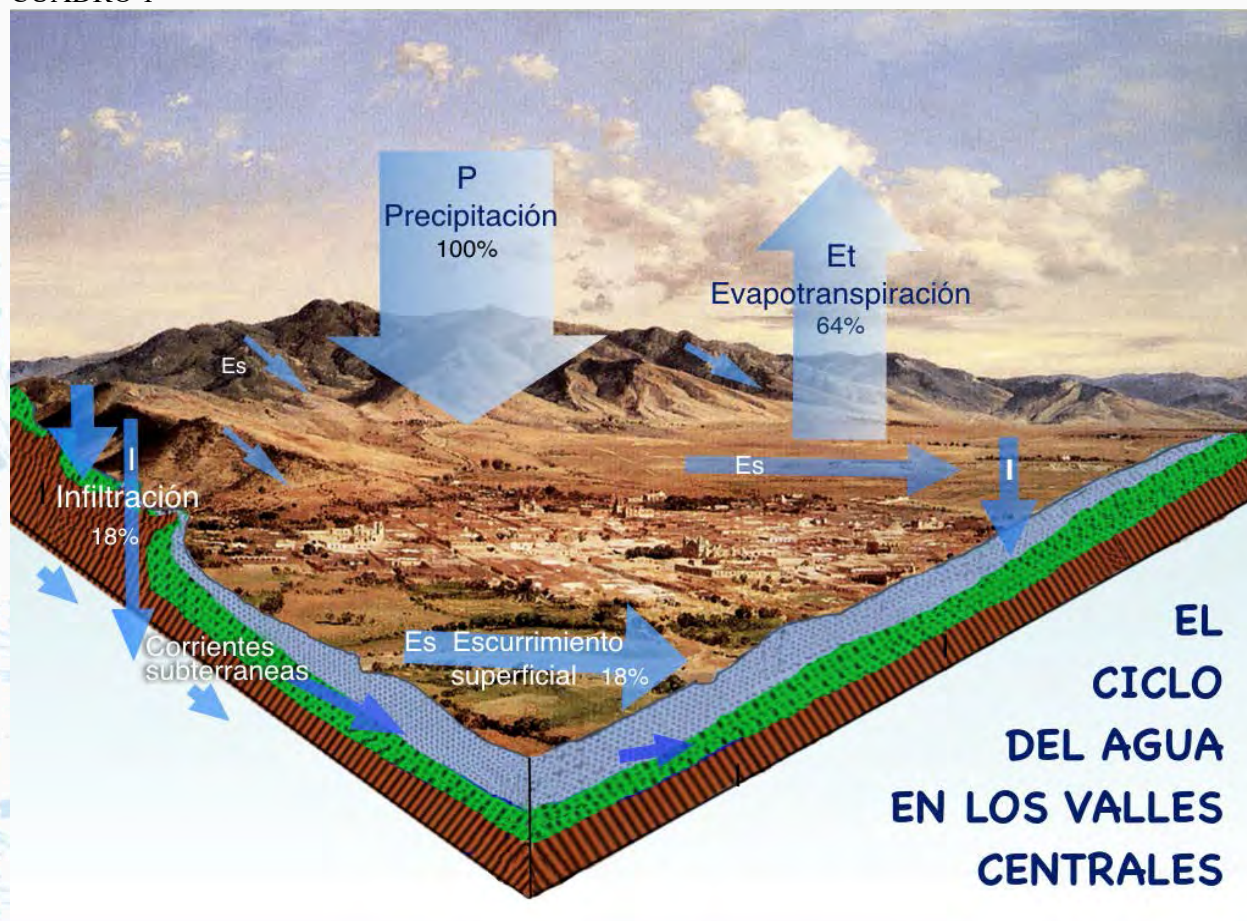
<sup>16</sup> Toda el agua que hay en una *cuenca* --esa especie de olla natural delimitada por montañas-- proviene de la lluvia. En condiciones naturales una gran proporción de esta agua se evapora, ya sea antes de llegar a la superficie, después de que cae o cuando es transpirada por las plantas. Los Valles Centrales la parte que regresa de esta manera a la atmósfera puede ser 60% del total. El agua que queda puede seguir varios caminos: una parte --la mitad-- se escurre para ir formando arroyos, ríos o lagos, la otra se filtra para humedecer el suelo y luego alimentar los *mantos freáticos*.



la región: en vez de entenderla como resultado de la escasez, la vemos como un exceso de agua rápida, que llega y se va velozmente durante la época de lluvias, y lo que nos falta agua lenta, el agua que antes era parte integral de ecosistemas sanos, se mantenía en ellos y podía ser usada a lo largo del año en formas y cantidades variables.

Sigamos con más detalle los caminos del agua. En la temporada de lluvias se hace más obvio que el agua cae y se escurre con fuerza y rapidez, pero, en realidad, dondequiera que nos fijemos tendremos agua en movimiento: la que corre por ríos o se precipita en cascadas, la que se eleva en forma de vapor o la desplazada por la atracción de la luna o por el viento, es decir, las mareas y las olas. El agua siempre está fluyendo durante su ciclo; más que estar en ciertos lugares o venir de ellos, se mueve constantemente de una

CUADRO 1



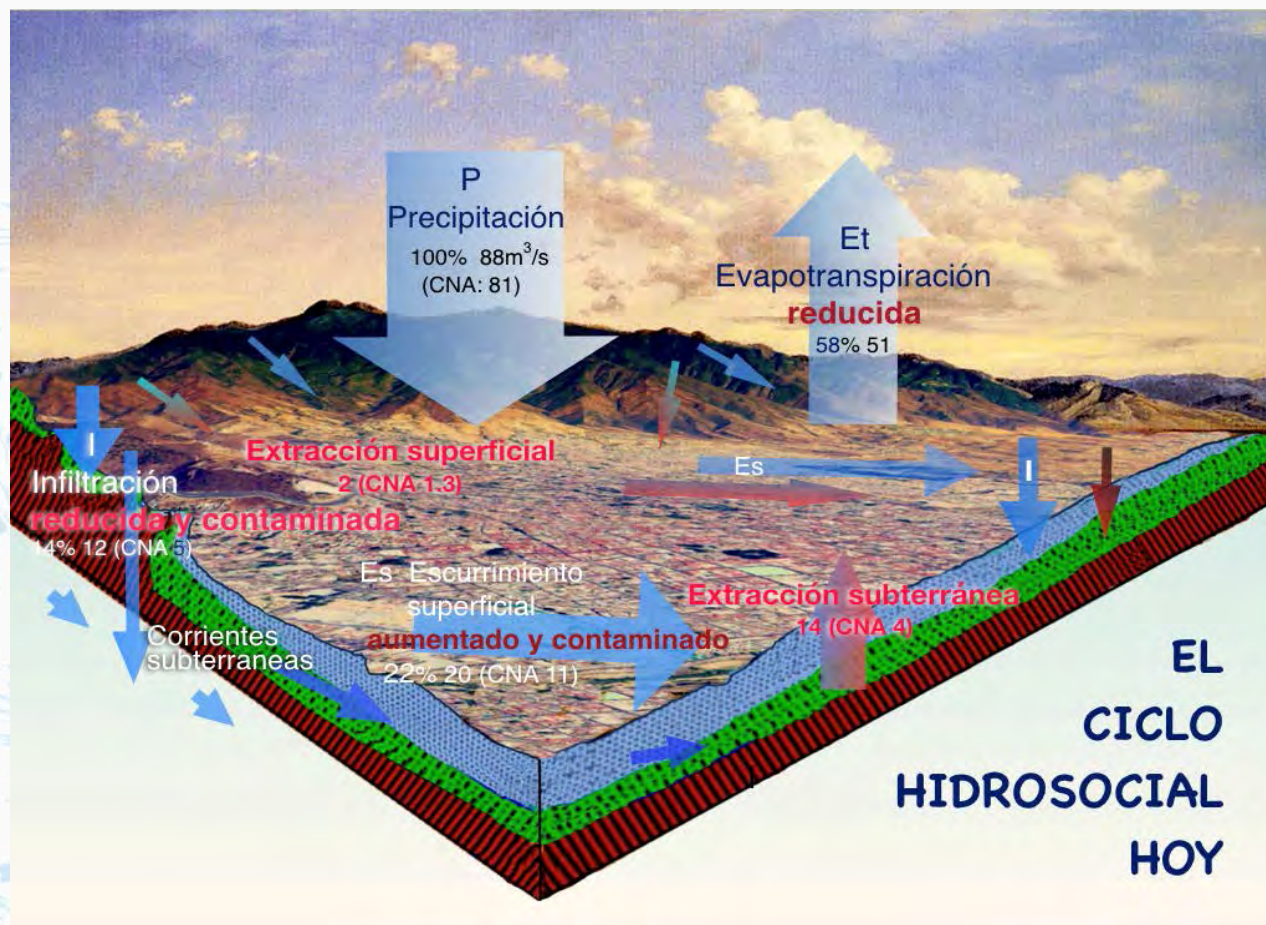
manera extraordinariamente compleja, a diferentes ritmos y en distintos estados físicos. Es fácil ver que algunas actividades humanas pueden alterar drásticamente estos modos y velocidades naturales del agua (Cuadro 1).

Así, como resultado del crecimiento urbano descontrolado y la consiguiente degradación de los bosques y cultivos circundantes, la precipitación en la época de lluvias se ha vuelto agua rápida que deja muy pronto la cuenca alta llevándose suelos fértiles, causando inundaciones y azolves y dejando de alimentar los mantos freáticos que son la fuente principal de agua en la región. El cambio de uso de suelo y la impermeabilización (asfalto, construcciones, compactación), además de disminuir la *infiltración*, han reducido grandemente la *evapotranspiración*; como consecuencia, el microclima se ha vuelto más extremo. Al mismo tiempo, hemos explotado en exceso el agua subterránea para la agricultura y los usos urbanos. Y por si fuera poco, estamos contaminando tanto el agua superficial como la subterránea. Por eso decimos que aunque tenemos bastante agua en términos globales, no la tenemos donde la podríamos aprovechar, ni en la cantidad y la calidad adecuadas. Para resolver los problemas relacionados con el agua requerimos una visión dinámica de su comportamiento y tener como objetivo recuperar el equilibrio en el ciclo hidrosocial (Véase Cuadro 2).



Como metáfora, *Agua Lenta*, creación original del INSO, captura las dimensiones técnicas y sociales de las soluciones para la crisis del agua que nos afecta a los oaxaqueños, pero también a miles de millones de personas en todo el mundo, pues nos dice lo que tenemos que hacer y con quién hay que hacerlo: por una parte hay que impulsar técnicas y prácticas de uso del suelo que transforman el agua rápida en lenta; por la otra, requiere el concurso de todos los actores sociales, en especial las comunidades de la parte alta de la cuenca, que es donde debe empezarse a frenar el agua.

CUADRO 2



¿Qué hay que hacer? En primer lugar necesitamos familiarizarnos con el agua de cada lugar, conocer cómo se comporta en sus distintas fases, cuáles son sus caminos. No es igual el agua de lluvia que la que sacamos de un pozo profundo; no es lo mismo el agua que corre rápidamente luego de un aguacero sobre la tierra desnuda que la que baja lentamente por una cañada cubierta de vegetación. Tendremos que interesarnos en la calidad tanto como la cantidad, desde los aspectos físico-químicos y bacteriológicos del agua hasta lo que podemos llamar su calidad ecológica. Finalmente, debemos tener una buena idea de cuánta agua usamos, de dónde la obtenemos y cómo afectamos ese ciclo natural.

La idea central de las buenas prácticas de agua lenta es la *regeneración*. Mucho se ha escrito y discutido sobre este término y otros relacionados: *sustentabilidad*, *restauración*, *conservación*, *manejo*. Para los efectos de lo que ahora nos interesa, baste decir que entendemos por regeneración un trabajo para reparar de los sistemas ecológicos en favor de los procesos naturales y no en su contra. Asumimos además que la gente es parte integral de esos sistemas. Esto es clave: sólo si nos percibimos como parte integral de la delicada trama de la vida seremos capaces de sanar sus procesos, pues entenderemos que nos estamos sanando a nosotros mismos. En este sentido, las cañadas que bajan de la Cordillera Norte no sólo cumplen una función clave en el ciclo del agua de toda la región, sino que son



venas de este gran organismo que llamamos Madre Tierra. Tal percepción, por suerte, prevalece aún entre muchas comunidades originarias de Oaxaca y de otros lugares de México y el Mundo.

Para poner en práctica la regeneración hay cuatro cosas que podemos hacer con el agua: frenarla, conducirla, almacenarla, y también dejar que siga su curso normal, pero preparados para contrarrestar sus efectos o evitar que nos perjudiquen (tal es el caso de los puentes o los palafitos). En general, podemos hacer una combinación cuidadosa de estas cosas en función de nuestros objetivos, las condiciones del sitio por regenerar (topografía, climas, suelos, etc.), así como las condiciones sociales y los materiales y técnicas de que dispongamos. La primera manera de *frenar el agua*, de gran importancia, es la *revegetación*, lo que es mucho más que la simple plantación de árboles. Reforestar es, en efecto, una actividad básica, pero hay además que cuidar los árboles y otros vegetales plantados (de preferencia de diversas especies nativas), enriquecer los suelos, alentar el crecimiento de la vegetación natural, evitar y controlar incendios y plagas, y promover actividades productivas apropiadas. Mientras evitamos el golpe directo de la lluvia sobre los suelos desnudos, con esas mismas acciones estamos *conduciendo el agua* y *almacenándola* de maneras que no son tan evidentes: parte del agua se infiltra en el suelo y se almacena en el *manto freático* y en la humedad del propio suelo. Otra porción se vuelve parte integral de las plantas y seres vivos del lugar, incluidos nosotros. Otra parte se transforma en humedad ambiental y contribuye así a un microclima más agradable y estable, entre otros muchos beneficios. Hay muchas maneras más de frenar el agua que corre superficialmente: ollas, gaviones, zanjas, barreras vivas, etc. Finalmente, podemos *cosechar la lluvia* de techos y otras construcciones, o bien de los propios terrenos. La cosecha de lluvia implica frenar, conducir y almacenar.

La *conducción del agua* superficial es otro gran capítulo de buenas prácticas de agua lenta que es imposible abordar aquí en extenso. Pero un indicio de su importancia es que la conducción de agua es la base de actividades humanas tan básicas como el riego agrícola y la producción de energía. Conducimos el agua para que *no* pase por lugares donde causa problemas. La conducimos también para hacerla llegar a sitios donde es buena para nosotros y otros seres vivos.

El *almacenamiento* puede ser también materia de más largas discusiones, pero tenemos a nuestra disposición una amplia gama de opciones de muy diversos costos para guardar agua para múltiples usos humanos. Conviene, sin embargo, tomar en cuenta algo que casi todas las culturas han sabido desde antiguo: el agua es un bien común, los mejores reservorios son los naturales (lagos, aguas subterráneas) y el agua es un ente vivo que no podemos guardar en grandes cantidades ni por largos periodos sin afectar su flujo natural. No es, en definitiva, algo para acumular, privatizar y lucrar.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Foro Oaxaqueño del Agua, Amigos del Crestón, A.C., Unitierra, , Friends of Farms and Forests\*, Bard Center for Environmental Policy (BCEP), Consejo de Cuenca Pacífico Sur, Comisión de Cuenca de los Ríos Atoyac y Salado (CCRAS), Comité Técnico de Aguas Subterráneas de Valles Centrales (Cotas), Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas (Conanp), Comisión Nacional del Agua (CNA), gobierno del estado de Oaxaca, comunidades de la cuenca, ayuntamientos de Oaxaca de Juárez, San Agustín Etla, San Andrés Huayapam y otros municipios, comisariados de bienes comunales de San Pablo Etla, y otras autoridades comunales.

## 6. LITERATURA CITADA

Banruri, T. 1988. Alternative responses to the environmental crisis: India, Finland and Maine. En: Apffel-Marglin (eds). Who will save the forests?: political resistance, systems of knowledge and the environmental crisis.

British Columbia Commission on Resources and Environment, 1994. Vancouver Island Land Use Plan. British Columbia Commission on Resources and Environment. Canada. 260 pp.

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (Conabio). 2004. "Regiones terrestres prioritarias". Escala 1:1, 000,000. México.

Consejo, J. 1999. Conserving the Manialtepec Watershed for People and Wildlife. *Waterfowl*. 12 (3):16.

Consejo, J. 2010. Repensar nuestra relación con el agua. En Yescas, I., C., Sánchez. Oaxaca 2010. Voces de la Transición. Carteles editores. Pp. 299-309.

Consejo, J. (coord.). 2014. Un Plan Común para un Bien Común: hacia una estrategia articuladora de esfuerzos en pro del agua en la cuenca del Río Verde-Atoyac. INSO. Oaxaca, México. 184 pp.

Consejo, J. 2014. Aguaxaca. Regenerando cañadas: el contagio de la esperanza. En: Fundación Alfredo Harp Helú. La filantropía de Alfredo Harp Helú, una forma de vida (II) 815-819.

Consejo, J. 2018. Los caminos del Agua; agua lenta. Revive tu Espacio. Anuario 2018. Casa de la Ciudad. Oaxaca. 3: 140-145.

López, L. y J. Consejo. 2011. Las Reflexiones de *Aguaxaca*: repensar el agua. INSO/Carteles Editores. Oaxaca. 163 pp.

López, L., G. Esteva, J. Consejo. 1998. Manual de Técnicas de Defensa Ecológica 2a. Ed. INSO/FundaciónFrederich Evert. 130 pp.

McKinnon K., McKinnon J., Child G. y J. Thorsell. (eds.) 1990. Manejo de áreas protegidas en los trópicos. UCN, PNUMA y Biocenosis. México. 314 pp.

Molrnar, E. 1989. Participatory rural appraisal. International Institute for Environment and Development. London. 65 pp.

Odum, E. 1969. The Strategy of Ecosystem Development. *Science*.164:262-270.

Toledo, V., 1997. La utopía realizándose. Ojarasca. 4:3-9.



## **ID-094: ABASTECIMIENTO DE AGUA EN VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE CHILPANCINGO DE LOS BRAVO, GUERRERO**

Edna Jaimes-Rendón<sup>1</sup>; Zayri Lorenzo-Nava<sup>1</sup>; Alfredo Méndez-Bahena<sup>2</sup> y Germán Urbán Lamadrid<sup>3</sup>

1. Facultad de Ciencias Químico Biológicas, UAGro. [ednajare@gmail.com](mailto:ednajare@gmail.com) y [zayri.lorenzo16@gmail.com](mailto:zayri.lorenzo16@gmail.com); 2. Autor de contacto. Facultad de Ciencias Químico Biológicas, UAGro. [amendezbahena@hotmail.com](mailto:amendezbahena@hotmail.com); 7474590701; 3 Instituto de Investigación Científica Área Ciencias Naturales, UAGro.

### **RESUMEN**

En Chilpancingo, Guerrero la crisis por la falta de agua es crónica. Esta investigación a nivel domiciliario evalúa el aporte y costo de las diferentes fuentes de abastecimiento e identifica su posible relación con el nivel socioeconómico de los habitantes y la ubicación espacial de las viviendas dentro de la microcuenca. Mediante el método etnográfico, se realizaron visitas y entrevistas en 16 viviendas durante la temporada de secas y lluvias del 2018. Se identificaron seis fuentes de abastecimiento: sistema municipal (CAPACH) pipas, pozo, lluvia, garrafrones y botellas, cuya importancia varía dependiendo de la ubicación de la vivienda, nivel de ingresos y temporada. De las 16 viviendas monitoreadas, tres (19%) no cubren el volumen mínimo recomendado por la OMS (50 L/pers/día) y otras 10 (62%) se ubican entre el nivel mínimo y el deseable (100 L/pers/día). Las colonias periféricas y las ubicadas al norte de la ciudad, muestran mayor desabasto. Las colonias de la zona centro y sur muestran mayor suministro, en ambas temporadas. El ingreso económico también influye en la posibilidad de abastecerse. Las familias con menores ingresos, que rentan la vivienda y/o que viven en condiciones de hacinamiento, no logran garantizar infraestructura de almacenamiento suficiente para largos periodos sin servicio municipal, por lo que se ven en la necesidad de comprar pipas. Adicionalmente, las personas entrevistadas no confían en la calidad e inocuidad del servicio municipal o de las pipas, viéndose en la necesidad de recurrir a garrafrones y botellas para el consumo humano y a veces, para la preparación de alimentos, aunque esto representa un aumento exponencial en el costo. Algunas familias invierten más del 10% de su presupuesto para el pago de agua. Durante la temporada de secas la carencia de agua se agudiza y la población invierte más recursos en la compra de agua. La colecta de lluvia no alcanza a ser una alternativa por la poca infraestructura para almacenamiento. El derecho humano al agua y saneamiento (DHAS) no está garantizado, lo que disminuye la calidad de vida y representa un riesgo latente de salud pública por falta de agua.

**Palabras clave:** Fuentes de Abasto, Derecho humano al agua, Nivel de ingresos, Ubicación geográfica, Costo.

### **1 INTRODUCCIÓN**

El agua es uno de los recursos de suma importancia para la humanidad, es un bien común e indispensable para la mayor parte de las actividades humanas, lo cual llega a ser motivo de bienestar, cooperación e incluso de conflicto. La disponibilidad del agua se relaciona con el incremento de la población, además de su concentración en las zonas urbanas. De 1950 a 2010 la población de México se cuadruplicó y paso de ser mayoritariamente rural a predominantemente urbana (CONAGUA, 2011). Esto generó uno de las principales tensiones alrededor del agua, pues significó un aumento en la demanda del recurso hídrico en las grandes ciudades, esto se ve reflejado en el incremento del consumo de agua *per cápita*; en 1955 cada mexicano consumía alrededor de 40 litros al día, mientras que para el 2012 se calcula que el consumo aumento a 280 litros por persona al día (CONAGUA, 2014).

Otra tensión fundamental en la temática, es la disputa entre defender el agua como un bien social relacionado con el derecho a la vida y el reconocerlo como un bien comercial susceptible de ser privatizado (García *et al.*, 2015). Cuando el servicio de agua entubada se provee desde una lógica puramente mercantil, el problema es que lesiona derechos fundamentales, como es el derecho al agua, al saneamiento y a la no discriminación. La falta de agua e ineficiencia en el saneamiento, está vinculada con la pobreza y la enfermedad, siendo vulnerables las personas de bajos recursos económicos (García *et al.*, 2015).



En un estudio en la ciudad de México Bazant (2009) menciona que como en muchas otras ciudades la distribución del agua se realiza de manera desigual, basada principalmente en el nivel de ingresos de la población.

En México el 8 de febrero de 2012 se agregó un nuevo párrafo al artículo 4° el Derecho al Agua y Saneamiento, obligando al Estado a promulgar una nueva legislación en la materia, asumiendo la responsabilidad de; respetar, proteger y garantizar su cumplimiento de forma accesible, suficiente, salubre, aceptable y asequible con participación ciudadana (Villareal, 2015). Siendo este derecho un modo de ejercer justicia social dejando en claro que todos los ciudadanos son iguales ante la ley y también ante la infraestructura pública ya que como se sabe comúnmente las personas con un nivel social más “alto” son las que aprovechan este beneficio, todos los individuos tienen el derecho al agua los ciudadanos deben tener al menos la mínima cantidad de agua que necesitan para realizar sus actividades diarias (Villareal, 2015), de acuerdo a la OMS se requiere entre 50 y 100 litros diarios para evitar problemas de salud (OMS, 2003).

La problemática del agua en la ciudad de Chilpancingo de los Bravo es un problema socioambiental que requiere atención por ello se decidió realizar un estudio exploratorio en 16 viviendas, tomando en cuenta principalmente el nivel socioeconómico y la ubicación espacial de la vivienda con respecto de la microcuenca, que resultan ser de gran influencia en cuanto a la disponibilidad y uso del agua. Se analizará el abasto del líquido: el cual abarca su procedencia (red de distribución municipal, pipas, garrafones, botellas), disponibilidad y costo de cada uno de los servicios y disponer de información sobre el cumplimiento del Derecho Humano al Agua en la Ciudad.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se llevó a cabo en 16 viviendas de la Ciudad de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, distribuidas en diferentes zonas de la ciudad, buscando representar distintas ubicaciones dentro de la microcuenca. Dado el carácter altamente estacional del recurso hídrico, se consideró la toma de datos en estación de lluvias y de secas.

### **Descripción del Área de estudio.**

La ciudad de Chilpancingo de los Bravo, tenía hasta 2010 una población de 187,251 habitantes (INEGI, 2010). Con una tasa de crecimiento del 1.16%, se estima que para el 2019 la población ascendió a 217,400 hab. A pesar de su condición como capital del Estado, está considerada con un nivel de marginación bajo, producto de carencias en los diferentes servicios. El total de viviendas habitadas en 2010 era de 44,090 de las cuales 833 (1.98%) no cuentan con servicio de drenaje y 10,571 (24.09%) están sin agua entubada (SEDESOL, 2010).

La ciudad se asienta en la cuenca alta del Río Papagayo mejor conocida como subcuenca Río Huacapa- río Azul ubicada en las coordenadas geográficas 99°30'033" Longitud y 17°33'05" Latitud pertenece a la región hidrográfica 20 (Costa Chica de Guerrero) con una superficie de aproximadamente 1,755.57 km<sup>2</sup>. Su cauce principal es la corriente denominada “río Huacapa - Petaquillas” que descarga sus aguas en el río Azul, afluente del río Papagayo (CONAGUA, 2015).

### **Selección de viviendas**

Debido a las condiciones de inseguridad y ante la necesidad de recabar datos en el interior de las viviendas, se optó por realizar un listado de viviendas de personas conocidas y de acceso seguro; de entre ellas se seleccionaron ponderando diferencias en ubicación dentro de la microcuenca y nivel de ingresos de sus habitantes. Las viviendas seleccionadas se ubican en las siguientes colonias.

Mediante el método etnográfico se levantó información en cada una de las viviendas, tanto en la temporada de lluvias como de secas. Se tomaron datos de las viviendas y se hicieron entrevistas encaminadas a conocer las fuentes de abasto de agua disponibles en cada vivienda, registrando frecuencia de compra, costo generado en la compra, disponibilidad del servicio, volumen de compra y la capacidad de almacenamiento en el domicilio.

Para analizar el suministro a nivel de vivienda en cada una de las temporadas, se formularon preguntas que abarcaron las fuentes disponibles en cada una, registrando frecuencia de compra, costo generado en la compra, disponibilidad del servicio, volumen de compra y la capacidad de almacenamiento.



Con base en la entrevista realizada en cada vivienda se registró de manera puntual el ingreso de agua (volúmenes netos) por cada fuente en la temporada de secas y lluvias, a partir de estos datos se estimó el volumen de agua disponible al día por integrante de la vivienda para cada fuente de abastecimiento disponible.

Formula:  $VT/I = LI / 212 \text{ ó } 153 = L$  donde

VTI= Volumen total por integrante por temporada, LI= Litros por integrante, 212 = Días de la temporada de secas, 153 = Días de la temporada de lluvias, LDI= Litros disponibles al día por integrante

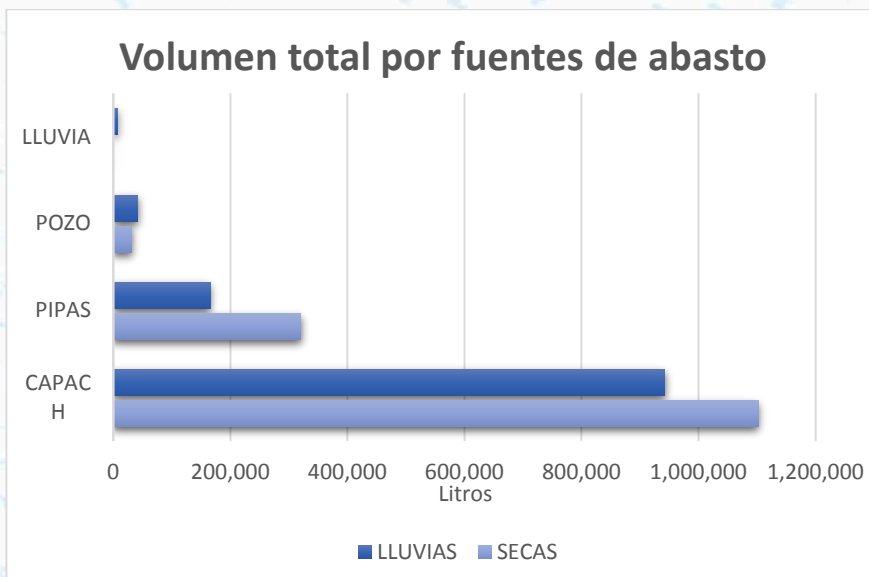
De la entrevista realizada en cada vivienda se retomó de manera puntual el ingreso económico de los habitantes. A partir de esta información se calculó el porcentaje de los ingresos que son destinados a sufragar el consumo de agua. Se analiza el monto específico gastado en cada fuente de abastecimiento y el volumen consumido.

Gasto mensual de agua (GA) \* 100 / Ingreso mensual (IM) = % del ingreso mensual invertido en agua (IMa)

Los datos de disponibilidad de agua por diferentes fuentes calculado para cada vivienda se comparó con la media para la ciudad. Esto sirvió para identificar las zonas de la ciudad en que existen mayores problemas de abasto a través del sistema municipal y, en su caso, cuáles son las alternativas usadas por sus habitantes.

### 3 RESULTADOS

En la siguiente Figura 1 se muestran los volúmenes para el total de viviendas por cada fuente de abastecimiento en ambas temporadas. Se observa que aunque el volumen mayor es suministrado por el organismo municipal (CAPACH), el volumen abastecido a través del pago a proveedores privados a través de pipas, es de gran relevancia.



**Figura 1.** Volúmenes de agua abastecidos a 16 viviendas por diferentes fuentes, para temporada de lluvias y de secas, en Chilpancingo, Gro.

En el agua para consumo humano se observa una fuerte variación entre ambas temporadas (Cuadro 1). El mayor consumo durante la temporada seca se relaciona no sólo con el efecto climático, sino con variaciones en el número de habitantes en los domicilios.

**Cuadro 1.** Volúmenes de agua para consumo humano, reportados en 16 viviendas, para temporada de lluvias y de secas, en Chilpancingo, Gro.

Fuente	Garrafrones (litros)	Botellas (litros)
Secas	39,656	2,998.2
Lluvias	27,360	293

El abasto municipal de la ciudad durante la temporada de secas es insuficiente para la mayoría de las viviendas encuestadas, ya que solo cuatro de éstas obtienen más de 50 litros por persona al día, esto se debe principalmente a la disponibilidad frecuente, cuando en la mayor parte de la ciudad se recibe el agua entubado mediante sistema de tandeos, es decir, que nunca se cuenta con un servicio permanente.

En tres viviendas de diferentes zonas no reciben el servicio de CAPACH por lo cual su única fuente de abasto es por medio del servicio de pipas (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Volúmenes de agua para uso general, reportados en 16 viviendas, para temporada de secas, en Chilpancingo, Gro. Para cada fuente de abastecimiento se registra el volumen al que tuvieron acceso en la vivienda, se calculó el volumen promedio por habitante, y el costo erogado por el servicio.

VIVIENDA, se calcula el volumen promedio por habitante, y el costo erogado por el servicio.									
FUENTES		CAPACH		PIPAS			POZO		
VIVIENDA	Volumen de ingreso	lts/ind/ día	Costo	Volumen de ingreso	lts/ind/ día	Costo	Volumen de ingreso	lts/ind/ día	Costo
Huajal	20,000	19	\$621	47,500	45	\$2,450	0	0	0
Tatagildo	23,400	28	\$406	38,500	45	\$2,750	0	0	0
Amp. Pino Suarez	66,300	39	\$525	3,500	2	\$250	0	0	0
Haciendita	70,700	56	\$560	7,000	6	\$500	0	0	0
Flores Magón	0	0	\$0	77,000	61	\$3,150	0	0	0
Mirador	44,000	42	\$2,100	14,000	13	\$1,400	0	0	0
Cuahtémoc Norte	51,520	20	\$679	0	0	\$0	26,600	10	700
Barrio de Tequicorral	39,900	47	\$574	0	0	\$0	0	0	0
Barrio de San Mateo	37,800	45	\$630	17,500	21	\$1,450	0	0	0
Viguri	159,600	251	\$560	0	0	\$0	0	0	0
Universitaria	0	0	\$0	49,000	77	\$3,640	0	0	0
Figueroa Mata	15,400	24	\$700	0	0	\$0	5040	8	0
San Rafael Oriente	27,300	13	\$490	14,000	7	\$1,120	0	0	0
Los Angeles	126,000	66	\$1,057	22,000	12	\$900	0	0	0
Frac. 20 de Noviembre	420,000	660	\$0	0	0	\$0	0	0	0
Frac. Villas Parador	0	0	\$0	30,800	73	\$2,800	0	0	0
Promedio		82	\$556		23	\$1,276		1	44
Total	1,101,920			320,800			31,640		

Durante la temporada de lluvias se observó un aumento en el volumen obtenido de CAPACH en varias viviendas lo cual ocasionó una disminución en la compra de pipas, así también se realizó captación de lluvia en cuatro de estas para actividades del hogar (Cuadro 3).



**Cuadro 3.** Volúmenes de agua para uso general, reportados en 16 viviendas, para temporada de lluvias, en Chilpancingo, Gro. Para cada fuente de abastecimiento se registra el volumen al que tuvieron acceso en la vivienda, se calculó el volumen promedio por habitante, y el costo erogado por el servicio.

FUENTES	CAPACH			PIPAS			POZO			LLUVIA		
	Volumen de ingreso	Lts/ ind/ día	Costo	Volumen de ingreso	Lts/ ind/ día	Costo	Volumen de ingreso	Lts/ ind/ día	Costo	Volumen de ingreso	Lts/ ind/ día	Costo
Huajal	10,000	16	320	55,000	90	2,500	0	0	0	180	0.29	0
Tatagildo	39,000	64	290	3,500	6	250	0	0	0	0	0	0
Amp. Pino Suarez	62,000	58	375	0	0	0	0	0	0	700	0.6	0
Haciendita	101,000	110	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flores Magón	0	0	0	55,000	60	2,250	0	0	0	3000	3.2	0
Mirador	44,000	58	1,500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuauhtémoc Norte	18,000	15	485	0	0	0	38,000	31	1,000	0	0	0
Barrio de Tequicorral	28,500	47	410	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Barrio de San Mateo	54,000	88	450	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viguri	114,000	248	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Universitaria	0	0	0	35,000	76	2,600	0	0	0	4,000	8.7	0
Figueroa Mata	22,000	48	500	0	0	0	3600	7.8	0	0	0	0
San Rafael Oriente	39,000	28	350	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Los Angeles	105,000	76	755	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frac. 20 de Noviembre	300,000	654	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frac. Villas Parador	5500	18	0	16,500	54	1,500	0	0	0	0	0	0
Promedio		95	\$390		18	\$569		2	\$63		1	
Total	942,000			165,000			41,600			7,880		

En el Cuadro 4 se detalla el gasto que los habitantes de las viviendas realizan para abastecerse de agua, así como el porcentaje que esto significa respecto al ingreso total de los moradores en la vivienda. Se puede observar que satisfacer las necesidades relacionadas con el suministro de agua representa un gasto importante en el presupuesto de cada hogar. Según los estándares internacionales el gasto por este concepto no debería superar el 5% del presupuesto de cada hogar, pero nuestros datos indican que en algunas de las zonas de Chilpancingo se rebasa varias veces. Lo más grave es que esto ocurre justamente en la periferia de la ciudad, es decir, en las zonas con los menores ingresos. Es decir, que la falta de un servicio adecuado termina afectando de forma más importante a los sectores más pobres de la ciudad, que al no disponer de servicio público o serle insuficiente tienen que desembolsar cantidades significativas para proveerse del líquido.

**Cuadro 4.** Gasto promedio en abastecimiento de agua y su porcentaje respecto al ingreso total en el hogar, reportado en 16 viviendas, para temporada de secas y de lluvias, en Chilpancingo, Gro.

VIVIENDA	Temporada de Secas			Temporada de Lluvias		
	Ingreso mensual	Gasto mensual en agua	% del ingreso	Ingreso mensual	Gasto mensual en agua	% del ingreso
Huajal	\$16,000	\$618	3.8	\$10,000	\$744	7.4
Tatagildo	\$12,000	\$2,117	17.6	\$12,000	\$567	4.7
Amp. Pino Suarez	\$20,000	\$411	2	\$20,000	\$375	1.8
Haciendita	\$50,000	\$451	0.9	\$50,000	\$380	0.7
Flores Magón	\$25,200	\$1,202	4.7	\$25,200	\$1,250	4.9
Mirador	\$8,000	\$954	11.9	\$16,800	\$560	3.3
Cuauhtémoc Norte	\$37,000	\$603	1.6	\$21,000	\$1,001	4.7
Barrio de Tequicorral	\$15,000	\$354	2.3	\$15,000	\$178	1.1
Barrio de San Mateo	\$4,000	\$537	13.4	\$4,000	\$390	9.7
Viguri	\$102,000	\$500	0.4	\$102,000	\$500	0.4
Universitaria	\$60,000	\$792	1.3	\$60,000	\$996	1.6
Figueroa Mata	\$18,480	\$280	1.5	\$18,480	\$220	1.1
San Rafael Oriente	\$20,000	\$550	2.7	\$20,000	\$458	2.2
Los Angeles	\$26,000	\$3,389	13	\$26,000	\$631	2.4
Frac. 20 de Noviembre	\$18,000	\$252	1.4	\$18,000	\$252	1.4
Frac. Villas Parador	\$24,000	\$540	2.2	\$24,000	\$370	1.5
Promedio	\$28,480	\$847	5.0	\$27,655	\$555	3.1

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los datos reflejan que el organismo paramunicipal Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Chilpancingo (CAPACH) no es capaz de cubrir en su totalidad el agua a la mayoría de las colonias de manera continua. Se puede apreciar que el sistema de tandeos para el abasto no funciona de manera equitativa, ya que las colonias de la zona centro y sur se ven beneficiadas por un suministro más continuo en ambas temporadas mientras que en otras no recibieron el servicio a lo largo de todo el año. Es evidente que en la temporada de secas, las personas requieren de más agua puesto que es en esta periodo donde el clima no nos favorece, puesto que se requiere mayor cantidad de agua de consumo por la deshidratación, el aseo personal, y entre las actividades cotidianas, la manera más viable para cubrir el servicio de agua en esta temporada es por medio del sector privado realizando la compra de pipas, garrafones y botellas.

El agua es necesaria para cada actividad humana, la Organización Mundial de la Salud, considera que para garantizar el derecho humano al agua se debe tener acceso a un mínimo de 50/L al día por persona y el acceso óptimo es de 100/L al día por persona, es decir que cada habitante debería tener disponible agua entre esos rangos para evitar problemas de salud (OMS, 2003). En las 16 viviendas monitoreadas de la ciudad de Chilpancingo, tres casos no cubren el acceso mínimo esto puede estar influenciado por la capacidad de almacenamiento de la vivienda puesto que no todas cuentan con cisterna, más de un rotoplas o un tanque con suficiente capacidad, por otro lado el ingreso económico influye en la posibilidad de sustentar la compra de pipas, puesto que CAPACH no cubre en su totalidad algunas zonas de la ciudad y las familias se ven en la necesidad de hacer uso de esta fuente.



Se debe considerar que los habitantes de todas las viviendas monitoreadas no confían en la calidad e inocuidad del servicio, por ello el agua para consumo humano se adquiere de otras fuentes, particulares que ofrecen servicio de potabilización de agua como lo son garrafones y botellas comerciales y locales.

La temporada de secas es crítica en cuestión de suministro puesto que es en esta temporada cuando la población hace un mayor consumo del recurso, el gasto que se realiza en la compra de agua es mucho mayor que en lluvias. La colecta de agua de lluvia es una fuente gratuita para poder abastecer a muchas familias, desafortunadamente la capacidad de almacenamiento es insuficiente para poder colectar la mayor cantidad de agua para ser aprovechada en otros meses. El implementar estrategias que puedan almacenar grandes cantidades de agua de lluvia en la ciudad y ser repartidas en las colonias donde los escasos del recurso son críticos, debe ser punto de partida para disminuir la desigualdad que se ve reflejada con respecto al abasto en la ciudad, en donde los más afectados son las viviendas con menor ingreso económico.

El derecho humano al agua y saneamiento (DHAS) no es cubierto en su totalidad, deliberando que por ley los ciudadanos deben tener disponible el acceso continuo de agua potable sin importar la ubicación de la vivienda e ingreso económico. En la reflexión de los datos se infiere que gran parte de las viviendas de la ciudad puedan estar en esta situación de crisis hídrica, estando obligados a gastar más en el suministro de agua.

El recurso es fundamental para realizar las actividades cotidianas, pero el uso es irracional en muchos casos y en otros es tan escaso que se han visto en la necesidad de reutilizar el agua de ciertas actividades. Es necesario fomentar el cuidado del agua, disminuir la contaminación del recurso y enfatizar en el almacenamiento de agua de lluvia.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecemos a todas las personas que amablemente nos abrieron las puertas de su hogar y accedieron a proporcionar información privada.

## **6. LITERATURA CITADA**

- Bazant, J. 2009. Hacia un desarrollo sustentable. México, D.F: Limusa.
- CONAGUA. 2011. Estadística del agua en México. Edición 2011.
- CONAGUA. 2014. Estadísticas del agua en México. Edición 2014. Coordinación General de Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua. México, D.F pp. 236.
- CONAGUA. 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Chilpancingo (1228) Estado de Guerrero. Diario Oficial de la Federación, México, D.F pp. 15.
- García Sánchez, Ma. R., Godínez Alarcón, G., Pineda Avonza, B., Reyes Añorve, J. 2015. Derecho al Agua y Calidad de Vida. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 6 (11): 15-27.
- SEDESOL. 2010. Catálogo de Localidades. Secretaría Del Desarrollo Social. México, <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=120290001>

## ID-102: UNA APROXIMACIÓN HACIA LA GESTIÓN COMUNITARIA DEL AGUA EN LA MICROCUENCA SAUZ DE GUADALUPE, PINAL DE AMOLES, QUERÉTARO

Fabián Leonardo MACÍAS<sup>a</sup>, Raúl PINEDA LÓPEZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Querétaro, Carretera a Chichimequillas s/n, email: [leocras@hotmail.com](mailto:leocras@hotmail.com)

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Querétaro, Carretera a Chichimequillas s/n, email: [rufuspinedal@gmail.com](mailto:rufuspinedal@gmail.com)

### RESUMEN

Estas líneas exploran la posible contribución hacia la gestión comunitaria del agua en la microcuenca Sauz de Guadalupe, Pinal de Amoles, Querétaro, mediante la co-construcción de problemáticas y respuestas en conjunto, a través de la colaboración directa con habitantes interesados/afectados por la calidad del agua. Este proyecto se fundamenta en el enfoque de cuenca y la investigación-acción, ambas permiten delinear oportunidades que priorizan el aprendizaje social y brindan la oportunidad de encauzar y co-construir conocimientos: sistémico, orientador y transformador, a fin de registrar, describir y explicar para transformar la realidad. A su vez la investigación-y-acción se considera como procesos inseparables del enfoque de cuenca. Por lo tanto, los conocimientos generados permiten presentar alternativas viables y pertinentes, al reconocer y asumir la complejidad en las relaciones e interacciones de cada cuenca. Ahora bien, esta intervención inició con la incertidumbre de los habitantes sobre la calidad del agua: en la microcuenca se extrae mercurio (minería artesanal), como proceso residual se tiene arsénico y mercurio; así la exposición es constante. Por lo anterior se emprendió la búsqueda de manantiales para ser analizados. Se inició con 20, posteriormente con el comité del agua, se priorizaron dos: Poza Verde y el Manantial Poza Verde. Ambos analizados en lluvias y secas durante los años 2017 y 2018. Poza Verde, de secas a lluvias (2017) incrementó en 1,150% el contenido de arsénico, esto es ocho veces superior a la Norma Oficial Mexicana 127, mientras tanto, de lluvias a secas decrece un 95.5%; para el periodo de secas a lluvias del 2018 incrementa en 966.6%. Esto permite explorar la idea de pasivos ambientales en la cabecera de la microcuenca. Por otro lado, el Manantial Poza Verde está en constante riesgo de contaminación por Poza Verde, puesto que los separa la caja-obra de captación, la cual está dañada. En cuanto al mercurio, es de resaltar que no se tuvo registro alguno, por lo que se debe de esclarecer su ruta. Razones por lo cual se propone iniciar con un monitoreo comunitario, el cual busca ser la base del manejo adaptativo en la transformación socioambiental de los habitantes de la microcuenca.

**Palabras clave:** Manejo adaptativo, Transformación socioambiental, Investigación-acción, Arsénico.

### INTRODUCCIÓN

La valoración, gestión y reparto integral del agua como bien común inalienable, tiene que ser el detonante de actividades individuales y sobre todo colectivas. “Cabe recordar que la gestión del agua es equivalente a la gestión de conflictos entre seres humanos, quienes queriéndolo o no, compiten entre sí para aprovechar espacios y recursos naturales escasos y vulnerables, alterando sus relaciones con el entorno que los sustenta” (Dourojeanni 1994: 15). En este sentido, el enfoque de cuenca es propicio para la formulación de acciones que integren a los diferentes actores involucrados en una sola problemática y además contemplen las interacciones entre el medio biofísico, los modos de apropiación del territorio y las instituciones existentes (Cotler y Pineda, 2008). Estas interrelaciones e interacciones plantean y desenvuelven dinámicas que, en diversas escalas espacio-temporales pueden traducirse en problemáticas y a su vez en oportunidades. Por tanto, este estudio se centra en el marco de la investigación-acción, la cual es entendida de acuerdo con Lewin (1946) como una forma de cuestionamiento autorreflexivo, que avanza en entender las enseñanzas para mejorar la racionalidad sobre la práctica. Estos conocimientos toman un papel preeminente en la construcción de nuevas formas de entendimiento y de organización para el manejo de bienes naturales. La co-construcción de conocimiento y la integración de conocimientos locales, desde el enfoque de cuenca, permite avances sistémicos hacia el manejo adaptativo y la gestión comunitaria del agua, a través de la gestión social y de conocimiento. En consecuencia, la realidad y las relaciones causales en la microcuenca Sauz de Guadalupe, representan retos para el suministro de agua; orográfico debido a la dispersión poblacional y a la localización de los manantiales respecto a las comunidades además de la insuficiencia en calidad y cantidad, debido entre otros a la actividad minera. El mercurio se procesa, se separa dentro de las minas, esto a través del “horneado” de la roca (cinabrio), por lo que de manera natural el mercurio y arsénico se encuentran como residuos de dicho proceso. La actividad minera tiene un contexto histórico en los municipios que conforman La Reserva de la Biósfera Sierra Gorda, tanto del Estado de Querétaro como de Guanajuato. Existe incertidumbre en la calidad



del agua, se desconoce si hay contaminación, en qué grado y en qué manantiales se tiene presencia de arsénico y mercurio. El 13 de junio del 2015, la Secretaría de Salud del Estado de Querétaro comunicó haber atendido a 120 personas intoxicadas con arsénico en el municipio de Pinal de Amoles, sin que se les otorgara mayor información al respecto. La minería presente es llamada artesanal, pero no necesariamente baja en conflictos y en contaminación: para el 2018 se reportan 173 conflictos (únicamente minería) y 560 en total (Toledo et al, 2018), con el 57.5% del territorio nacional concesionado (García, 2018). La microcuenca el Sauz de Guadalupe se encuentra dentro de la delimitación de la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda, cuenta con 109 km<sup>2</sup> de superficie, correspondiente al Municipio de Pinal de Amoles, en el estado de Querétaro. La microcuenca concentra 28 localidades rurales con aproximadamente 4,500 habitantes. Estas localidades se abastecen en su totalidad de manantiales, mediante sistemas por gravedad.

Por lo anterior, es necesario recordar las discusiones dadas en el marco del IV Foro Mundial del Agua celebrado en la Ciudad de México, Grey y Sadoff (2006), distinguen como reto la seguridad hídrica; legado hidrológico fácil de administrar y legado hidrológico difícil de administrar. Argumentan que un legado hidrológico fácil requiere de niveles comparativamente bajos de inversión y capacidad tecnológica, debido principalmente a que el agua es suficiente, ampliamente distribuida y es relativamente confiable, mientras que, un legado hidrológico difícil es aquel con escasez absoluta, y en el otro extremo, las tierras bajas en riesgo continuo de inundaciones. Sin embargo, a estos legados y retos, se debe de sumar la oferta y la demanda, la contaminación por actividades antrópicas, la capacidad y visión gubernamental actual (política/económica) y de organización de las comunidades, así como las zonas con dificultad orográfica para suministrar agua en calidad y cantidad. En este orden, la seguridad del Agua (SA) como noción política en el ámbito local, regional, nacional e internacional determina las relaciones con la seguridad humana, la ambiental y la de género. Por ello la SA forma parte de una seguridad ampliada, profundizada y sectorizada (Oswald y Brauch, 2009; Brauch et al. 2008, 2009, 2011).

Para lograr iniciar la y cualquier intervención y co-construir alternativas, es preciso abordar la organización y colaboración por parte de los habitantes locales y claramente por el investigador, solo así se podrá hablar de logros en comunidad. En el libro “La más bella historia del mundo”; Reeves et al, (2000) plantean tres escenarios; la materia se organiza; la vida se organiza; nuestros antepasados se organizan. Y continúan “La historia del universo es la historia de la materia que se organiza” (p.22). De ahí que la organización, aludida en el presente trabajo, es vista como un elemento esencial para lograr activar procesos individuales y colectivos durante la investigación-acción. Por su parte, la organización es y será considerada como el elemento central de la colaboración, de la comunidad y la gobernanza, referidos como causales, inherentes y fundamentales entre sí, y el agua, es y será vista como el “Arché<sup>17</sup>” capaz de lograr dicha organización. La “comunidad” como definición permanece en la discusión-construcción, ante esto se esboza lo que algunos autores han aportado ante este ápeiron: Tönnies (1979) define la comunidad “ideal” como aquella donde los miembros desarrollan labores en común, donde existe participación, consenso, cooperación, acciones colectivas, sentimiento de fraternidad, goce de bienes comunes y placer mutuo. Por su parte Krause (1999) plantea tres elementos fundamentales para ser comunidad: pertenencia, interrelación y cultura común.

Zygmunt Bauman, en su libro “Comunidad. En busca de seguridad en un mundo hostil” inicia de manera bucólica diciendo:

Las palabras tienen significados, pero algunas palabras producen además una «sensación». La palabra «comunidad» es una de ellas. Produce una buena sensación: sea cual sea el significado de «comunidad», está bien «tener una comunidad», «estar en comunidad». Si alguien se descarría, muchas veces explicaremos su reprochable conducta afirmando que «anda con malas compañías». Si alguien se siente fatal, sufre mucho y no se le permite de ninguna manera llevar una vida digna, acusaríamos sin dudar a la sociedad, a la forma en que está organizada, a la forma en que funciona. La compañía o la sociedad pueden ser malas; no la comunidad. Tenemos el sentimiento de que la comunidad es siempre algo bueno. (Bauman, 2003, p.7)

Siguiendo este sentido lírico y bajo otro contexto, Eduardo Galeano habla de lo que “fue” y de lo que “deberá” ser el territorio que hoy llamamos América Latina:

---

<sup>17</sup>De acuerdo con los griegos, es el principio fundamental, la causa, esencia y origen de todo aquello que nos rodea. Tales de Mileto afirmaba que el origen de todo en la naturaleza era el Agua.



La comunidad, el modo comunitario de producción y de vida, es la más remota tradición de las Américas, la más americana de todas; pertenece a los primeros tiempos y a las primeras gentes, pero también pertenece a los tiempos que vienen y presiente un nuevo Nuevo Mundo. (Galeano, 1989, p.101)

Por lo anterior, ante un ejercicio de conexión, la comunidad podrá expresarse como el lugar de vida, el hábitat y el habitar natural, donde las actividades, la vida misma se desenvuelve colaborando, como colectivo que emerge y se organiza a través del cambio, del pensamiento y del sentir en las acciones cotidianas.

Llegado a este punto, el enfoque de cuenca tiene la disposición y obligación de concretar conocimientos y dirigir esfuerzos para presentar alternativas viables y pertinentes. De ahí que el enfoque va más allá de la investigación y se centra en las acciones para crear soluciones. Dicho lo anterior, la colaboración y participación colectiva de los diferentes actores en la cuenca determinan las posibilidades e impedimentos para acceder a bienes hídricos, con acciones encaminadas hacia la sustentabilidad, ésta, entendida bajo el concepto de Toledo y Ortiz-Espejel (2014), la sustentabilidad como poder social, la cual se alcanzará mediante la organización y convergencia de acciones hacia el diálogo que posibilita la co-gestión y co-construcción de conocimientos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El diseño metodológico de aproximación se articuló para los siguientes ejes:

- Estructura y relación del comité de agua; pasado, presente y futuro.
- Mecanismos para la toma de decisiones, estrategias de mando y resolución de conflictos.
- Dinámica organizativa.

A través de las siguientes herramientas: *Observación participante*. Con ella se pretende el involucramiento en el contexto real del problema. *Entrevista informal*. En ella se desarrollan las vivencias y visiones del entrevistado. *Grupo focal*. El cual permite la recolección de información concreta y rápida. *Cartografía participativa*. Con ello se permite contextualizar los usos, apropiaciones, narraciones, así como la situación organizacional y política concebida en el territorio. El diseño pretende aproximarse a tres perspectivas metodológicas de la investigación social: distributiva, estructural y dialéctica (Ibáñez, 1986). A fin de incidir con información para fortalecer o mejorar la toma de decisiones y/o aproximarnos a ellas. A su vez se retoma los tipos de interés de Habermas (1982): técnico, práctico y el interés emancipatorio. Finalmente, este trabajo se propone el enfoque de cuenca, ya que éste brinda la posibilidad de encauzar y co-construir conocimientos: sistémico, orientador y transformador (Becker, 2002) a través de la investigación y acción.

Los procesos de co-construcción se situaron bajo un rígido sentido de utilidad en la información, misma que sostuvo principios creativos, participativos y adaptativos con el fin de ir “adecuando” al ir avanzando en el encuentro con los habitantes, con la finalidad de hacer mejoras dentro de la investigación-acción, con ello establecer mayor profundidad en las acciones que indicaban oportunidades colectivas y organizativas en relación con el agua. Los recorridos de campo en búsqueda de manantiales permitieron la identificación de actores para visualizar las relaciones y conocimientos que existen en el tema del agua; la distribución, cantidad y calidad, por lo que se indagó de manera individual y colectiva. Se realizaron 18 visitas (reconocimiento, tomas de muestras, entrega de resultados), a la microcuenca, en cada una de ellas se tuvo la oportunidad de conversar y realizar breves entrevistas informales (13), en la cual participaron miembros de las localidades de El Cantón, La Morita, La Barrosa, Santa Águeda, La Tinaja y Las Cruces. Con estas herramientas se visualizó y sistematizó la información hacia la construcción de conocimientos y el reconocimiento de prácticas.

### **Descripción de momentos (etapas) en la investigación-acción:**

La presente investigación se desarrolló en cuatro momentos, sinérgicos y sin frontera, los cuales permiten retroalimentarse continuamente.

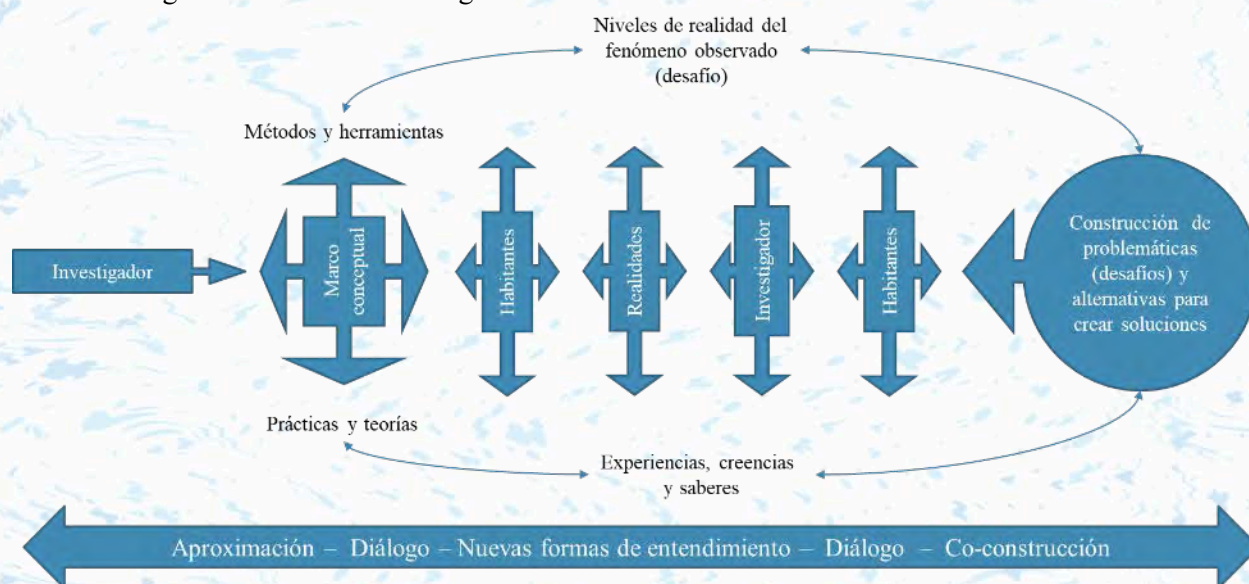
- 1) Aproximación (física y social) contextual,
- 2) Análisis contenido de arsénico y mercurio del agua (manantiales),
- 3) Primera reflexión sobre el uso de la información generada y,
- 4) *La acción hacia la transformación.*

La **aproximación** consistió en encontrar puntos de conexión entre las urgencias de los habitantes de la microcuenca (agua: calidad, cantidad y distribución) y, la visión de la investigación (Co-construcción: problemáticas,



alternativas para crear soluciones): ¿Cómo hacer una investigación que beneficie a los habitantes? ¿Cómo lograr trascender la investigación hacia resultados a corto, mediano y largo plazo? ¿Qué manantiales tienen mercurio y arsénico? ¿Cuáles no? ¿Cómo establecer espacios de diálogo y colaboración? El segundo momento, el **análisis del agua**; el cual parte de las narrativas en la aproximación: en total se realizaron 18 visitas a la zona de intervención: repartidas en reconocer la microcuenca y los manantiales, sesiones informativas, entrevistas semiestructuradas y la presentación de resultados por cada toma de muestras realizada. Estas visitas fueron guiadas en particular por la familia Olmos, de la localidad de El Cantón. Se registraron más de 20 manantiales, los cuales, diferenciados en dos: lloraderos, cuando sólo tienen agua en el periodo de lluvias y manantiales cuando estos tienen agua todo el año. Por esto, del total visitado únicamente se tomaron doce muestras inicialmente y dos del sistema de distribución denominado Poza Verde. El tercer momento, la **reflexión**; inicia sobre las acciones llevadas a cabo: ¿Para qué sirven los recorridos en la microcuenca? ¿Qué me indican los primeros resultados? ¿Qué relación tienen las narrativas de los habitantes (durante los recorridos) con los análisis? ¿Qué se puede hacer con los resultados preliminares? Ante lo anterior, se priorizaron algunos manantiales y se zonificó la microcuenca, como un primer paso a la protección de zonas para la procuración del agua y zonas para realizar/regular actividades mineras. Cuarto momento, la **acción**; misma que es sustentada con la información co-construida en torno a los temas y situaciones relevantes para los habitantes, necesarios para comprender, tomar decisiones y claramente toma de acciones.

Así se establece el diseño de aproximación a respuestas de mayor profundidad (a fin de esclarecer) y consecuentemente de mayor peso en la toma de decisiones sustentadas, para negociar y visibilizar conocimientos, necesidades y oportunidades. La figura 1, expresa el camino que se realizó. Este es el diseño que traza los primeros pasos hacia una gestión comunitaria del agua.









**Figura 1.** Esquema de la intervención en la presente investigación. Elaboración propia.

### Descripción de muestreo de manantiales:

Inicialmente los recorridos en la microcuenca fueron para localizar los manantiales en uso y los manantiales que no han sido utilizados para consumo humano, cada manantial visitado fue georreferenciado. Una vez encontrado cada manantial se establecieron dos criterios (Cuadro 1): A) Aforo del manantial (Temporal de estiaje) y, B) Cercanía actividades antropogénicas (minería).

**Cuadro 2.** Ponderación inicial para la selección de manantiales prospectivos.

Ponderación		Litros por segundo	Ponderación		Kilómetros
Viable		>0.25	Viable		>4
Medianamente viable		0.10-0.25	Medianamente viable		2-4
No viable		<0.10	No viable		<1

Fuente: Elaboración propia, a partir del diálogo (con habitantes) durante la toma de datos de campo.

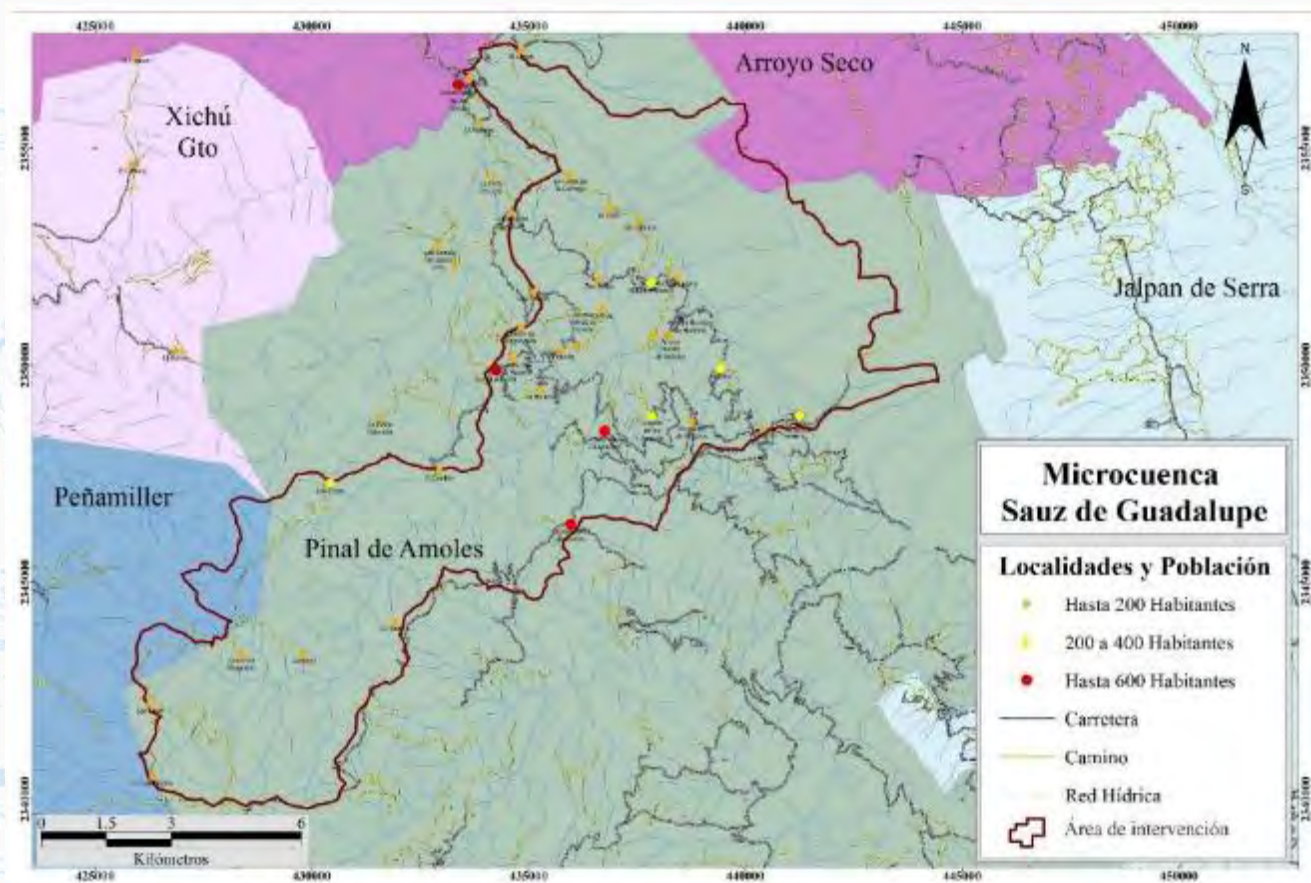
En la primera aproximación se descartaron y seleccionaron algunos manantiales, para proceder a los análisis de contenido de metales, principalmente arsénico y mercurio (por el contexto minero de la microcuenca), definiendo



los manantiales con potencial de consumo humano mediante los lineamientos de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, la cual refiere para arsénico un máximo permisible de 0.050 mg/l<sup>18</sup>; o 50 partes por billón (ppb)<sup>19</sup>. Por su parte la Organización de las Mundial de la Salud (OMS), indica 0.010 mg/l o 10 ppb. Para mercurio la Norma marca 0.001 mg/l (01, ppb).

### Área de intervención

La microcuenca Sauz de Guadalupe (figura 2), está situada en el Municipio de Pinal de Amoles, en el Estado de Querétaro; de acuerdo con CONEVAL y SEDESOL (2015), es el municipio de mayor marginación: es el de mayor pobreza, mayor rezago y carencia por acceso a servicios de salud, seguridad social y a la alimentación. Por otra parte, la Federación Nacional de Municipios de México, considera al municipio rico, refiriéndolo como minero.



**Figura 2.** Área de la investigación. Elaboración propia a partir de información vectorial del INEGI 2014.

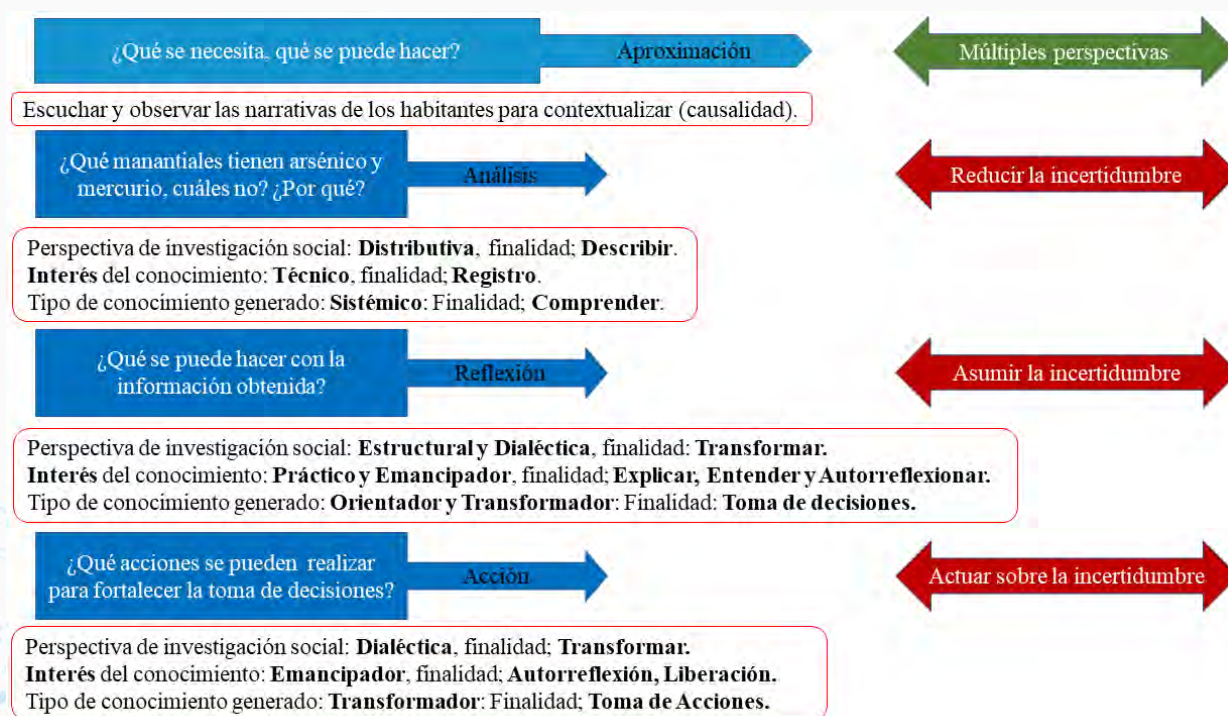
Finalmente, se presenta la figura 3 a manera de integración. En ella se presentan los pasos de la investigación, los tipos de conocimiento, el interés y finalidad de cada uno de ellos. El propósito es sustentar este proceso, mediando entre la aproximación, el análisis, la reflexión y la acción. Estableciendo una conexión inseparable entre ellas, siendo recursivo, intemporal y perfectible.

La dialéctica de la humanidad y la naturaleza debe de ser vista de manera contextual, por tanto, el esquema refiere procesos de inclusión desde distintas herramientas y visiones, concatenada una con otra, vistas y entendidas de manera cíclica y no lineal.

<sup>18</sup>La NOM-127 debe de ser actualizada (desde el 2005) debería indicar 0.025 mg/l, para arsénico y 0.001 mg/l para mercurio.

<sup>19</sup>La información antes compartida (secretaría de salud) a los habitantes de la microcuenca Sauz de Guadalupe, fue referida en partes por billón y no en mg/l. Por lo cual piden y están familiarizados con la información en ppb.

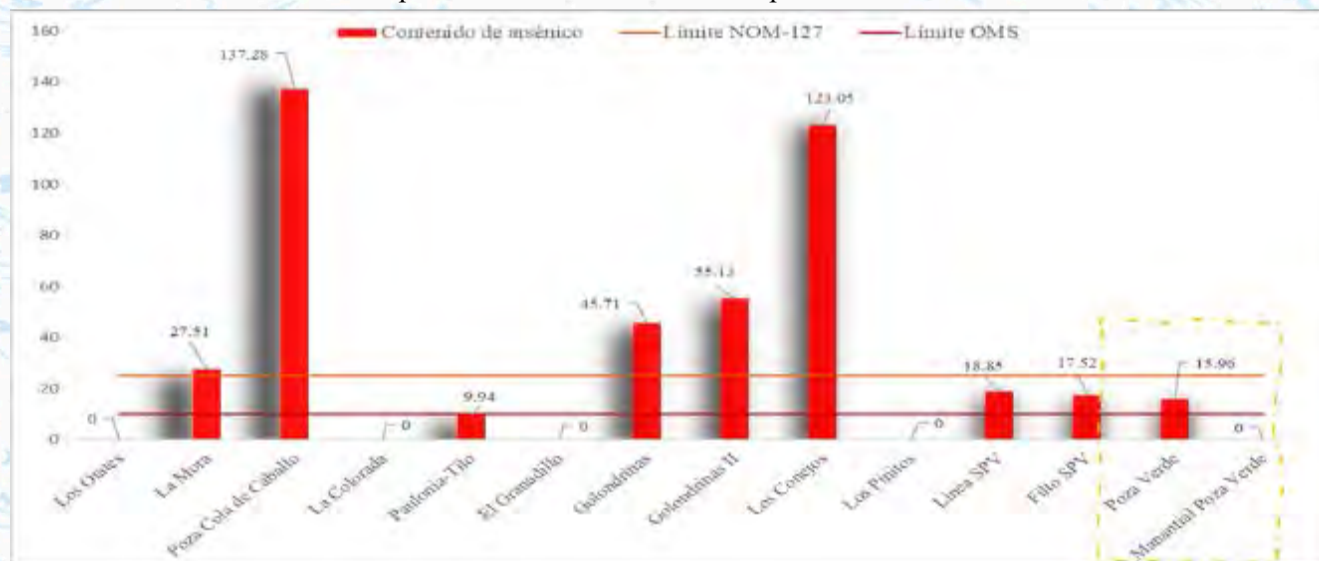




**Figura 3.** Integración de elementos para la propuesta de investigación-acción. Elaboración propia, basado en Habermas, 1982 Ibáñez, 1986, Becker 2002.

## RESULTADOS

A partir de la primera selección de manantiales se analizaron un total de 14 puntos (figura 4). Además de las muestras directas de manantiales, se realizaron análisis a la línea de distribución (directo de la llave) en la localidad El Cantón, así como del filtro en la misma localidad. En los análisis únicamente se registró arsénico. Cinco de las muestras se sitúan con valores superiores a los valores máximos permisibles de la NOM-127.

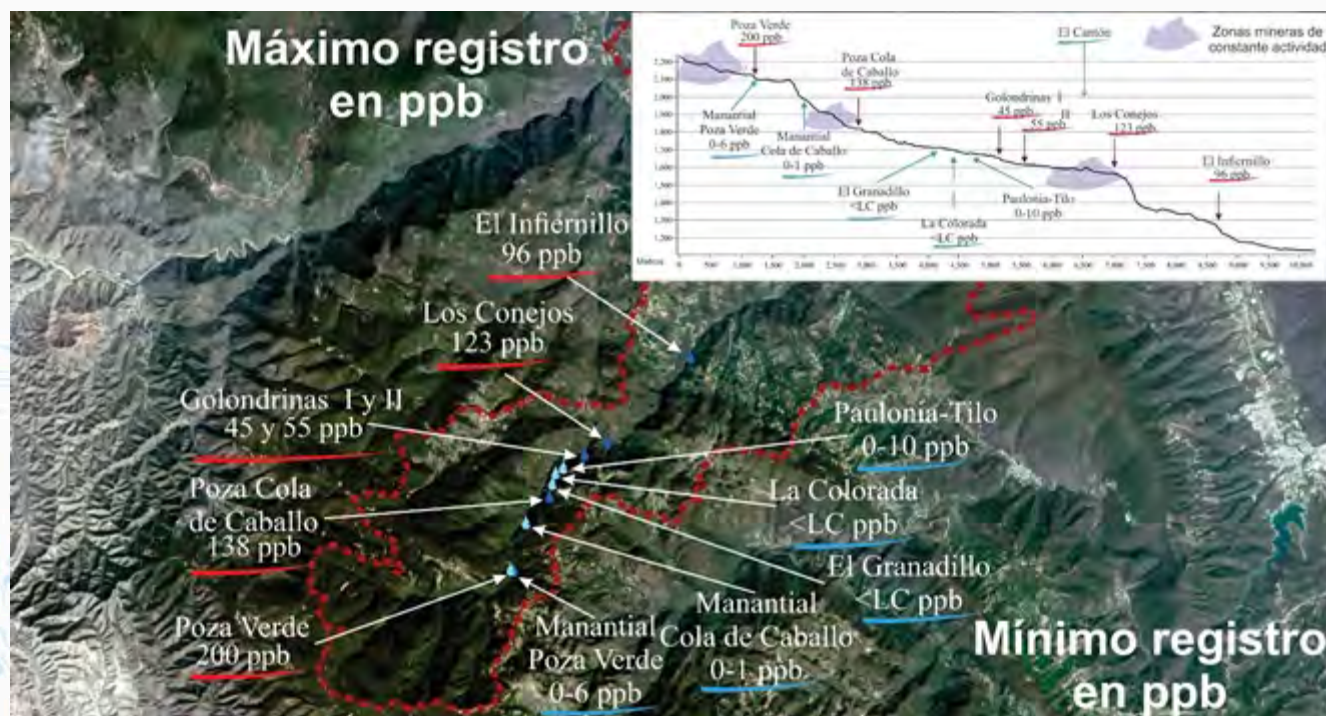


**Figura 4.** Análisis inicial presentado en ppb de los manantiales seleccionados.

Posteriormente se priorizaron dos muestras de interés (urgente) para los habitantes de la microcuenca y personas que dieron origen a este proceso: los puntos fueron Manantial Poza Verde (MPV) y Poza Verde (PV). Una vez seleccionados se pidió colaboración puntual a los habitantes, lo que detonó en la reactivación del comité del agua del Sistema Poza Verde (SPV) que desde el 2002 había quedado parcialmente relegado, debido a diferentes cambios en la dinámica de los habitantes de la microcuenca (migración de los líderes, migración de jóvenes -no

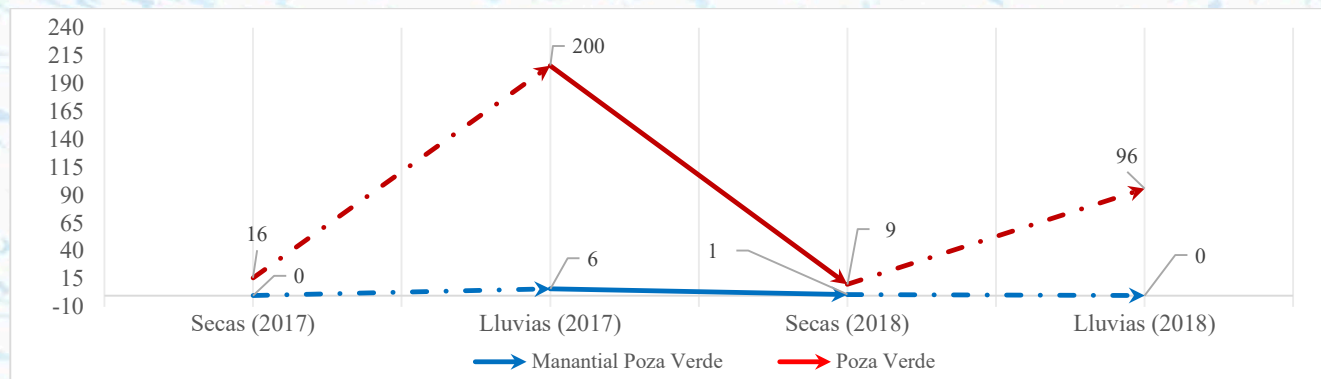


hay cambio generacional-, envejecimiento y enfermedades de los líderes de las primeras obras logradas). Con la activación se inició un proceso co-construcción de conocimientos, iniciando el monitoreo de MPV y PV, para los años 2017 y 2018. La figura 5 muestra los máximos y mínimos registrados para el análisis, por otro lado, la figura 6 muestra la dinámica del arsénico para los puntos más importantes para 16 comunidades.



**Figura 5.** Perfil y localización de las concentraciones máximas y mínimas registradas en los muestreos.

La siguiente figura (6) muestra que el Manantial Poza Verde, para ambos años, no presenta cambios significativos, respecto a la NOM-127. Por su parte Poza Verde, para el periodo del 2017 (lluvias y secas) tuvo un registro que supera en ocho ocasiones la NOM-127, expresándose con un aumento de 1,150% con respecto al periodo de secas a lluvias. Del periodo de lluvias del 2017 al periodo de secas del 2018 decreció la cantidad de arsénico en un 95.5%, aun así, sigue siendo un registro alto, dañino para la salud. A su vez para el periodo 2018 (lluvias y secas) Poza Verde registra un incremento de 966.67% de secas a lluvias.



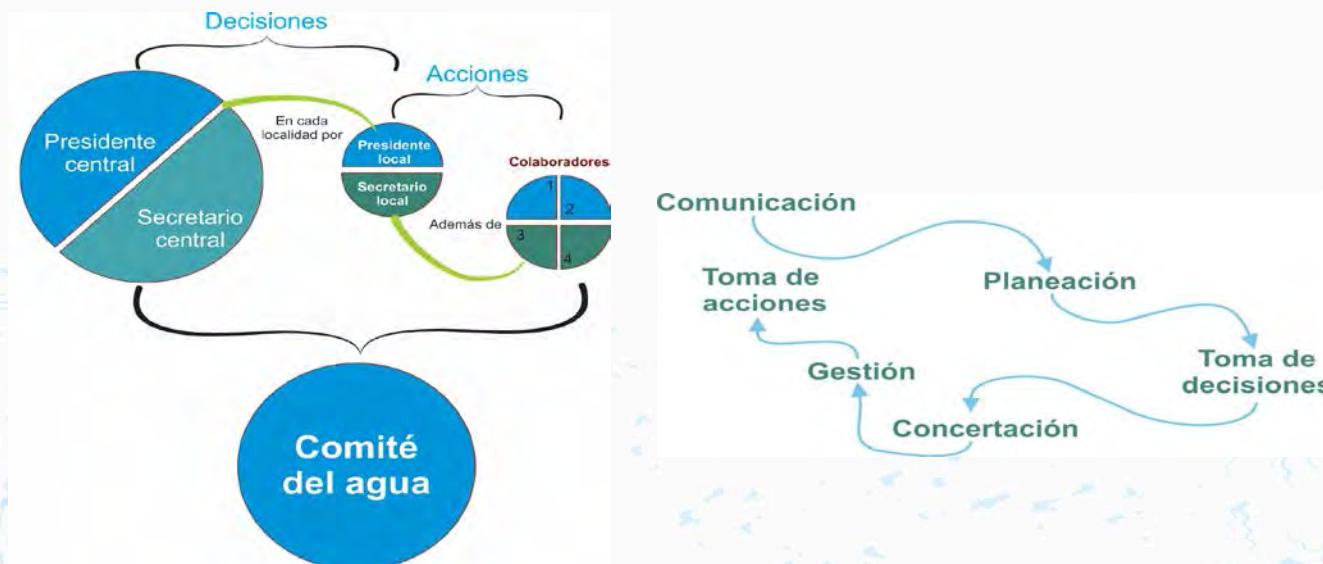
**Figura 6.** Registro de arsénico 2017-2018.

### Del comité del agua

Una vez entregados los primeros resultados se logró el acompañamiento y colaboración continua por parte del comité del agua y otros habitantes interesados. Además de la conformación del comité del agua, se presentan dos aspectos fundamentales; regulatorio y operativo (figura 7): Comunicación: se logra tener comunicación con todas



las comunidades, mediante la comunicación directa del presidente del comité y los miembros de su familia. Planeación: no se tiene planeación, se actúa mediante necesidades. Se actúa acorde a las eventualidades. Concertación: se tiene consenso mediante votaciones (todos, los que estén) a propuestas de (algunos) miembros, principalmente los presidentes, aunque se les da voz a todos los interesados. Gestión: se gestiona mediante el presidente del comité con el apoyo familiar y miembros cercanos a la familia. Toma de decisiones: se convoca y responden los más cercanos: participación afectiva.



**Figura 7.** Organización, colaboración y forma de operar del comité del agua SPV.

#### **Reflexión: uso de la información**

Ahora bien, los resultados fueron presentados una y otra vez, en cada ocasión que se realizó el muestreo, se entregó, debatió y reflexionó: ¿Qué les parecen los resultados? ¿Cómo los ven?

*Pues, están bien, bueno, no está bien, algunos salen contaminados...  
ps como no... por todos lados tenemos minas...  
... pero, ese de ahí (Poza Cola de Caballo) no me queda claro, está lejos de las minas...  
¿no se habrán equivocado?...  
... la de Poza Verde no llega, esa se sume, se pierde ahí (en la curva, sobre el cauce) ...  
...a menos que salga y se conecte con Cola de Caballo...  
... por arriba se junta en las lluvias, eso siempre ha sido claro... pero por abajo también se pueden juntar...  
Habitantes de la microcuenca, seis de marzo del 2018*

Una de las oportunidades que se desencadena al escuchar y caminar la cuenca, es sin duda alguna la recuperación de acciones comunitarias, de prácticas y sobre todo de relaciones entre habitantes, además se posibilita la co-construir de espacios de diálogo. Como ejemplo se menciona: se logró la asistencia de habitantes que, por desencuentros tenían años de no participar comunitariamente:

*A mí estas cosas ya no me importan, nomás ven sus intereses... antes veíamos por el agua, agua para todas las comunidades... vine, pa ver que es lo que ha cambiado...  
Sr. Espinoza, habitante de Santa Águeda, seis de diciembre del 2017*

#### **Uso de la información: reflexión**

Cabe señalar el compromiso a través de la insistencia del comité, el cual hizo posible que la presidenta de Pinal de Amoles: Gloria Rendón, asistiera al manantial Poza Verde, esto es un avance en la negociación para intervenir y canalizar recursos para (primeramente) rehabilitar el sistema Poza Verde. Como logro de los habitantes, se menciona la entrega de material recibido por Marín Olmos, presidente del comité del agua. La figura 8, muestra el material para la rehabilitación del SPV y el avance de obras, que, debe señalarse, quedó inconcluso.





Figura 8. Entrega-recepción de material, 12 de febrero del 2018 y avance de obra 28 de abril 2018.

### BREVES Y MÁS BREVES CONCLUSIONES

Dentro de cada comunidad, existen personas que saben hacer “saber hacer”, recuperar la confianza en sus saberes y acciones es un ejercicio dialéctico nacido de la necesidad de creación de parte de la investigación/investigador y la realidad percibida y contada en la microcuenca. Con la intervención se coadyuva para que los habitantes puedan articular y comunicar conocimientos a organismos externos, sea la academia o autoridades gubernamentales, siendo el principio de un puente para la creación de otras oportunidades: otro tipo de relación laboral. Este diálogo podrá fortalecer al comité del agua, manifestando diversas apropiaciones individuales y colectivas. Es aquí donde el aprendizaje social surge como elemento de transformación conceptual y de acción, además puede conducir a la creación de nuevas formas de entendimiento, para iniciar y recuperar las capacidades de autogestión y cuidado de sus bienes hídricos, ante la complejidad de las interacciones inherentes al contexto de la cuenca, en el pasado, presente y futuro.

La investigación desde el enfoque de cuenca, como se presenta en este trabajo, explora la construcción de tres tipos de conocimiento; sistémico, orientador y transformador, a su vez, la praxis entendida como el ejercicio reflexivo determina el rumbo y la transformación de prácticas y teorías existentes y/o olvidadas. Esta forma de investigar se sustenta en contextos locales, más allá de centrarse en marcos epistémicos con diversas geografías preestablecidas (sin dejar a un lado la necesidad de ampliar la visión y revisión del tema a abordar bajo otros contextos). Los participantes en la investigación aprenden/aprendemos a enmarcar problemáticas, lo que permite crear posibles soluciones, y posteriormente (de manera técnica/académica) convertirlas en propuestas; diseños nacientes del contexto establecido en la aproximación y durante el proceso de investigación.

La participación de la sociedad (afectados/beneficiados) es fundamental para potenciar el enfoque de cuenca, con el cual se pueden establecer cambios organizacionales (culturales, de servicios, productivos y de conservación) profundos, a fin de mejorar las condiciones de vida. Estos cambios se producen a través de las decisiones y acciones



de los involucrados (científicos, habitantes y miembros de gobierno) en la investigación, ésta, a su vez requiere compromisos de colaboración, como la creación de redes de aprendizaje mutuo -y continuo-: característica histórica de la humanidad.

Las actividades, obras y acciones realizadas en conjunto, contribuyen (en la medida de las posibilidades) a la autovaloración y reflexión individual y colectiva sobre las necesidades y oportunidades en el territorio, con ello se recuerda, se crean y recrean nuevos temas y posibilidades de acción. Esto posibilita generar procesos que su vez detonan oportunidades para hacer comunidad. Estos procesos son consecuencia de la historia que a su vez se reescribe, no sólo es lo que aconteció (lo que se sufre) sino lo que se realiza para seguir construyendo día a día. Cada persona podrá valorar y verificar su accionar y su aporte a la realidad vivida en comunidad, es una forma de verse realizados, de ver que su trabajo es valorado y sirve de ejemplo.

De los análisis del agua: se hace notar que el regreso final para las personas (contribución) no precisamente es el mismo resultado que se pretende académicamente (ayuda y sirve de apoyo), el cual, tradicionalmente es en medio escrito (tesis, publicaciones, artículos, libros, trípticos, reportes), es fundamental identificar y reconocer otras formas de comunicación: la comunicación visual y oral es más accesible para ciertas personas, puede dar voz y validez sobre las propias formas de organización y representación, y, sobre todo la utilidad práctica que en ello se realiza. Ejemplo de lo anterior es el retorno de información de manera cíclica mediante una breve presentación y explicación (cuando así se requirió) con mapas y resultados de laboratorio en mano. Con ello se logró mayor interés para la colaboración, además, una de las principales observaciones de este trabajo fue el aumento de la autoestima de los miembros que participaron en la toma de muestras y seguimiento de información: comienzan a creer que es posible ser parte de investigaciones para resolver o iniciar propuestas de manera integral y no sólo ser observadores: se construye respeto y confianza para intentar ser parte de cambios y movimientos en pro de la salud ecosistémica y claro, de los habitantes en general. Por ello, el uso del mismo lenguaje (de una comunicación efectiva) permite que el aprendizaje sea motivo de cambios en el entendimiento de nuevas realidades (para el investigador -estudiante/académico- y para todos los participantes). Por esto, es importante reconocer las narrativas de los habitantes, pues, contextualizan y esclarecen la relación entre la temporalidad de los fenómenos que no pueden ser observados/registrados y la restricción de métodos en la investigación tradicional. Esto da oportunidad de visibilizar voces, nexos e interacciones directas/indirectas sobre el espacio y las apropiaciones del territorio. Las narrativas son una forma más de generar conocimientos, de entrelazar historias con datos y acontecimientos que marcan un antes y después en determinada región, no sólo en la oralidad de los habitantes (afectados) sino de todos los involucrados en el proceso de registro de información.

### **Monitoreo comunitario: la propuesta**

La transformación ante nuevas emergencias detona ese cambio (semilla) en la configuración de nuevas realidades, se requiere de organización, recuperación de metas, conocimientos, saberes habilidades y, fortalecer a otros que, no son parte de esas habilidades y conocimientos. El monitoreo comunitario fortalecerá la toma de decisiones y mejorará el entendimiento de la dinámica de la cuenca. El monitoreo se fundamenta en la creación de capital social, por tanto, es prioritaria la difusión de información, con lo cual se impulsa la investigación científica y comunitaria. Por lo tanto, se constituye así mismo como el espacio para lograr crear y compartir información. La propuesta es naciente de la necesidad de información constante, pretende ser el enlace para potenciar capacidades y dotar de habilidades y herramientas para generar cambios en la organización comunitaria, hacia la gestión del territorio, específicamente en el conocimiento, prácticas y gestión del agua. La propuesta del monitoreo comunitario representa la creación de información confiable y actual. Se inicia con la toma de datos y con ello: el análisis, la valoración, el seguimiento, el reporte, la evaluación y la reflexión. En consecuencia, este trabajo visiona la gestión, difusión y extensión del conocimiento como base para la toma de decisiones.

El conocimiento dará robustez en la conjetura de los procesos del manejo del territorio y gestión de los bienes hídricos, así como encaminar procesos de adaptación. El conocimiento como acción y teoría permite la disminución de riesgos y vulnerabilidad por lo que actúa directamente sobre la incertidumbre, reduciéndola a través de la cooperación comunitaria, científica, técnica y gubernamental. Dicha coyuntura permitirá generar ejercicios transversales y perdurables, mismos que trasciendan periodos administrativos, a fin de incrementar el bienestar social en la región. Hecha esta salvedad, la implementación del monitoreo comunitario responde a los principios de la política pública actual, sustentada en la Ley de Aguas Nacionales: el Derecho Humano al Agua (4to Constitucional), la gestión integrada del agua y la seguridad hídrica, así como salud y adaptación cambio

climático, tanto en la legislación nacional y estatal. El monitoreo visibiliza donde estamos y nos centra en un punto base y nos encamina a entender la complejidad del sistema que deseamos/necesitamos observar/registrar. Los puntos centrales para este ejercicio se numeran enseguida:

- 1. Se va a monitorear:**
  - a. Agua: calidad (metales, parámetros biológicos y fisicoquímicos) y cantidad.
  - b. Actividades en el territorio: minería, agricultura y pastoreo.
- 2. Lo harán:**
  - a. Miembros del comité del agua (interesados y capacitados).
  - b. Miembros de la academia, ONG's y gobierno (seguimiento).
- 3. Los sitios serán:**
  - a. Manantiales priorizados y, tres tomas del cauce principal /zona alta-media-baja/.
- 4. Las fechas serán:**
  - a. Periodo de lluvias y periodo de secas (septiembre y marzo).
  - a'. Lluvias y secas, además de un punto intermedio (septiembre, diciembre y marzo).
- 5. La línea base a seguir será (acorde a la Norma Oficial Mexicana vigente):**
  - a. Cantidad arsénico.
  - b. Cantidad de mercurio.
  - c. Parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad y oxígeno disuelto.
- 6. Se realizará con (insumos):**
  - a. Equipo de campo (equipo portátil).
  - b. Análisis de laboratorio (propio y/u otro disponible).
  - c. Multiparamétrico
- 7. Podrá ser financiado por:**
  - a. El municipio (programa de agua para todos/equivalente).
  - b. Fondo para el Desarrollo Regional Sustentable de Estados y Municipios Mineros.
  - c. ONG's
  - d. Academia
  - e. Usuarios del agua
  - f. Programas federales a través de las dependencias (CONANP, SS).
- 8. La colaboración podrá ser: (asignación de responsabilidades).**
  - a. ¿Quién toma los datos?
    - i. Comité del agua (usuarios).
    - ii. Academia y ONG's
  - b. ¿Quién sistematiza, analiza e interpreta los datos? (identificación de vacíos, oportunidades y desafíos).
    - i. Gobierno, ONG's y academia.
  - c. ¿Quién contextualiza los resultados?
    - i. Comité del agua, ONG's y la academia.
- 9. La información generada la usará:**
  - a. Comité del agua (usuarios).
  - b. ONG's
  - c. Gobierno (federal, estatal, municipal: acorde a su participación).
  - d. Academia
- 10. La información la guardará: (hojas/ ficha de registro y captura digital).**
  - a. Comité del agua (usuarios).
  - b. ONG's
  - c. Gobierno (federal, estatal, municipal: acorde a su participación).
  - d. Academia
- 11. La difusión la hará:**
  - a. Comité del agua (usuarios).
  - b. ONG's
  - c. Gobierno (federal, estatal, municipal: acorde a su participación).
  - d. Academia

Esta propuesta está dada al revisar lo que se tiene y debe tener; insumos, marco legal, capacidades técnicas y humanas, y la interacción de los habitantes en la consecución como en el procesamiento de datos. Esto genera una colaboración adaptativa, en cada toma de muestras se tiene aprendizaje (quien enseña-aprende y quien aprende-



enseña). La colaboración es la principal fuerza evolutiva: la creación del lenguaje (semiótica y simbolismo), escritura, caza y recolección, la creación de pueblos (comunidades), ataque y defensa ante otros grupos humanos y no humanos, son ejemplos tácitos de ello. Sin colaboración no se pueden llegar a un nivel de organización que trascienda hacia una transformación socioambiental.

## AGRADECIMIENTOS

Agradeciendo a la familia Olmos de El Cantón, iniciando por el señor Santiago, Gris, Sofi, Yuli, Lulú, Jorge, Paco, Marín, Levy y al pequeño Lenin, y a Leonado Herrera de Pinal de Amoles, quienes me acompañaron y enseñaron otras formas de ser y de estar en la microcuenca. A todos los habitantes que colaboraron de una u otra manera en los recorridos, en la investigación y en los resultados de ésta; no sólo por parte de los habitantes del Cantón, sino de Santa Águeda, La Morita, Maguey Blanco, Las Cruces, La Joya, Las Mesas de Santa Inés, El Arpa y La Barrosa.

## LITERATURA CITADA

- Bauman, Z., (2003). Comunidad. En busca de seguridad en un mundo hostil. Siglo XXI Editores. Madrid, España.
- Becker, E., (2002). Transformations of Social and Ecological Issues into Transdisciplinary Research. UNESCO Publishing/EOLSS Publishers, Paris, Oxford, pp. 949-963.
- Cotler, H. y Pineda, R. 2008. Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos? En boletín del archivo histórico del agua. México: SEMARNAT. Comisión Nacional del Agua. Año 13. Número 39, 16-21.
- Dourojeanni, A. (1994). Políticas públicas para el desarrollo sustentable: la gestión integrada de cuencas, Santiago, Chile. CEPAL.
- Galeano, E., (1989). El libro de los abrazos. Siglo XXI España editores. España.
- García, Z, R. (2018). Política pública sobre minería, medio ambiente y soberanía nacional, En: Agenda Ambiental 2018 Diagnóstico y propuestas, Merino, P, L. y Velázquez, M, A. 2018. SUSMAI, UNAM, México.
- García-Morente, M., (2009). Lecciones preliminares de filosofía, Madrid. España, Ed. Encuentro S.A.
- Grey, D. y Sadoff, C.W., (2006). Agua para el crecimiento y el desarrollo. Documento Temático. México, D.F.: IV Foro Mundial del Agua, Comisión Nacional del Agua y Consejo Mundial del Agua. 70 pp.
- Habermas, J., (1982). Conocimiento e interés. Madrid (España): Taurus.
- Ibáñez, J., (1986). Del algoritmo al sujeto. Perspectivas de la investigación social, Siglo XXI, Madrid, España.
- Krause, J.M., (1999). Representaciones sociales y psicología comunitaria. Psykhe, 8, 41-47.
- Lewin, K. (1946). Action research and minority problems. In G. W. Lewin (Ed.), Resolving social conflict. New York, pp. 201-216.
- Oswald Spring, Úrsula., (2014). Manifestaciones de la pérdida de bienestar, En: Rosario Pérez Espejo, Roberto M. Constantino Toto e Hilda Dávila Ibañez (coords.) Agua, Alimentación y Bienestar. La Huella Hídrica como Enfoque complementario de Gestión Integral del Agua, UAM y Fundación Botín, Madrid, ISBN: 978-607-28-0153-0, pp. 69-88
- Reeves, H. Rosnay, J., Coppens, Y., & Simonnet, D., (2007). La más bella historia del mundo. Anagrama. Argentina.
- Toledo, V. M., (2018). Mapeando las injusticias ambientales en México. <http://www.ies.unam.mx/mapeando-las-injusticias-ambientales-en-mexico/> revisado 15 de abril
- Toledo, V.M. & B. Ortiz-Espejel. 2014. México. Regiones que caminan hacia la sustentabilidad. Una geopolítica de las resistencias bioculturales, Puebla, Puebla. Universidad Iberoamericana.
- Tönnies, F., (1979). Gemeinschaft und Gesellschaft. Grundbegriffe der reinen Soziologie [1887], Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

## **ID-298: REALIDAD AUMENTADA, OPCIÓN TECNOLÓGICA PARA UN MEJOR CONOCIMIENTO SOBRE MANEJO DE CUENCAS**

Joaquín FLORES RAMÍREZ<sup>a</sup>, Jesús Eduardo RENTERÍA BLANCO<sup>b</sup>, Jaime LIMÓN, Dennia Elizabeth DOMÍNGUEZ ROJAS<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Mor., Méx., jflores@tlaloc.imta.mx

<sup>b</sup> Animactiva, Aguascalientes, Ags., Méx, eduardo@animactiva.mx

<sup>c</sup> Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, Mor., Méx., dennia.red@live.com.mx

### **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es describir el diseño y desarrollo de elementos de realidad aumentada para contribuir a la visualización de información relacionada con el contenido de la exposición itinerante “Agua 24 – 7 cantidad adecuada calidad aceptable”. El trabajo presenta ocho objetos de realidad aumentada que son parte de dicha exposición, elaborada y difundida por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), en Jiutepec, Morelos. La exposición es abierta al público en general y aprovecha las infografías con las cuales cuenta para incluir información que no es posible percibir a simple vista en la misma. Se presenta el modelado de ocho objetos en tercera dimensión que se elaboró a través de técnicas de bajo poligonaje y esculpido digital, que son didácticos, sencillos, claros entendibles y con colores y figuras atractivas que llaman la atención de los espectadores de la exposición además de aportar información significativa sobre: la imagen de una red de distribución de agua potable en una ciudad; los parámetros oficiales más significativos con los que debe cumplir en México el agua potable, así como las características del agua residual; un ecosistema con seres vivos, el medio que los rodea y las relaciones que existen entre ellos; un cuerpo de agua con los contaminantes más significativos en una zona urbana; las características de un acuífero en condiciones naturales y uno sobreexplotado; la relación entre agua y energía; el agua de lluvia evaporada, infiltrada y escurrida; finalmente como el aumento de la temperatura afecta el aumento en el nivel del mar, inundaciones, sequías e incendios. La posibilidad de observar lo que sucede dentro de los diversos fenómenos naturales, percibir como se dan las interacciones entre los elementos que intervienen en el ciclo y manejo del agua, mejora la comprensión y el aprendizaje de los diversos temas que abordados a lo largo de la exposición itinerante y que gracias a la realidad aumentada se perciben y entienden de manera más sencilla.

**Palabras clave:** Realidad aumentada, cultura del agua, educación no formal.

### **1 INTRODUCCIÓN**

El avance de la tecnología de la información ha innovado cambios importantes en el acercamiento del conocimiento en ámbitos cada vez más diversos desde la educación formal como no formal (Alvarez-Marin, Castillo-Vergara, Pizarro-Guerrero, y Espinoza-Vera, 2017; Arturo y Trápaga, 2014; Basogain, Olabe, Espinosa, Rouèche, y Olabe, 2000; Boj y Díaz, 2007; Cabero-Almenara, Vázquez-Cano, y López-Meneses, 2018; Flores, Azar, Herrera Cognetta, y Paz, 2015; Gómez, Vazquez, y Tentori, 2015; Prendes Espinosa, 2014; Quevedo, 2015). A través de información gráfica en medios digitales, con modelos e imágenes en tercera dimensión, la Realidad Aumentada (RA) enriquece el mundo físico en tiempo real. La capacidad potenciadora del pensamiento crítico, reflexión, así como de las operaciones estratégicas mentales con la cual cuenta la RA en espacios de difusión y apropiación de la información ha favorecido el aprendizaje y modelación conductual y cognitiva de las personas que interactúan con los objetos digitales diseñados para la instrucción operacional (Sarracino, 2014). Las tecnologías de la información representan una oportunidad para mejorar la comprensión de los fenómenos en contextos diversos con practicidad, factibilidad económica y sensibilidad a partir de la interacción entre la persona que manipula el objeto de RA y el diseño instruccional de aprendizaje significativo que antecede al desarrollo de este (Alvarez-Marin et al., 2017; Jauregui, 2016).



## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo hace parte del proyecto interno del Centro Interactivo de Tecnología del Agua del IMTA, iniciado en el año 2016 y actualmente en fase de recuperación de datos de ejecución y evaluación de resultados (de proceso, aprendizaje y reacción). El objeto de estudio son las 8 animaciones de RA expuestas como complemento de las infografías sobre seguridad hídrica de la exposición itinerante “Agua 24 – 7 cantidad adecuada calidad aceptable”. Los materiales empleados en la realización de este trabajo fueron digitales, la información seleccionada para mostrar resultó de la búsqueda bibliográfica sobre la seguridad hídrica y el diseño instruccional de los objetivos de la exposición. Para la elaboración de las animaciones no se utilizaron prototipos físicos, se emplearon imágenes y gráficos digitalizados de los materiales y texturas de cada una de las recreaciones de la realidad. En la creación de los objetos de RA se mantuvo un proceso gradual de constante retroalimentación entre los especialistas en el desarrollo de tecnología digital y los expertos en el manejo de los recursos hídricos, con el fin de que los productos finales cumplieran con cuatro criterios de aprendizaje (atractivos, entendibles, sencillos y claros). Para esto, se hicieron reuniones de expertos en procesos pedagógicos, de aprendizaje significativo y de diseños instruccionales donde se discutieron formas de enriquecer el producto final de cada objeto, cuidando la compatibilidad con el objetivo específico de la animación.

Como parte de la valoración del proceso del proyecto interno se hizo una recopilación de datos numéricos sobre la cantidad de visitantes a la exposición en la primera fase de itinerancia y de evaluación de reacción cuando los objetos de RA habían incluidos en la misma. Dichos datos de frecuencia fueron procesados a partir de hojas de cálculo de la paquetería de oficina de Microsoft (Excel) versión superior a 2010. El análisis de los datos corresponde a estadística descriptiva de frecuencia y proporción.



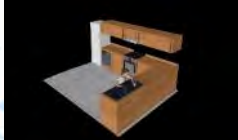
## 3 RESULTADOS

Se diseñaron 8 objetos de RA para complementar ocho de las diez infografías de la exposición itinerante “Agua 24 – 7 cantidad adecuada calidad aceptable”. La situación del agua en el mundo y en México, así como el concepto, necesidades y retos para alcanzar la seguridad hídrica son temas sobre los cuales versan las animaciones de RA expuestas. En la Tabla 1 pueden observarse las imágenes en dos dimensiones de las principales escenas representadas en cada objeto animado de RA, de acuerdo con la información científica contenida en las infografías de la sala.

A pesar de que las infografías de la exposición, así como las animaciones de RA conllevan a análisis independientes, existe seriación lógica y fácil de identificar en la secuencia museográfica, en la misma Tabla 1 se muestra este orden desde el reconocimiento de la importancia de las cualidades y cantidades del agua para mantener y cuidar la vida en la tierra, así como las relaciones ecosistémicas con los sistemas energéticos, económicos y sociales de los seres humanos que aprovechan los recursos hídricos.






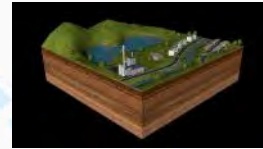






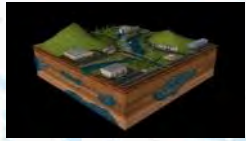

**Tabla 1**

*Descripción de la visualización de los objetos de RA ordenados por infografía a la cual se anexa*

Descripción del objeto de RA	QR	Objeto de Realidad Aumentada (RA)
<b>Infografía Agua 24-7</b> Un objeto en tercera dimensión con realidad aumentada donde se observa la imagen de una red de distribución de agua potable de una ciudad, con una gota de agua que se mueve dentro de esta, la gota sale al abrir la llave en una casa, una niña abre la llave, llena el vaso con agua, lo lleva a su boca y toma el líquido.		 

**Agua potable contra la pobreza**



Descripción del objeto de RA	QR	Objeto de Realidad Aumentada (RA)	
Se observan los parámetros oficiales más significativos con los que debe cumplir en México el agua potable, así como las características de agua residual municipal. Se observa tanto el agua potable con sus parámetros oficiales más significativos, así como un agua residual con sus características.			
<b>- Ecosistemas + desastres</b> Se observa un ecosistema, con seres vivos, el medio que los rodea y las relaciones que existen entre ellos. Se debe observar un ecosistema sano, sin contaminantes y otro con contaminación del agua, aire y suelo.			
<b>Seguridad hídrica</b> Se observa un cuerpo de agua, laguna o presa con los contaminantes más significativos que pueden llegar a un cuerpo de agua, que podría ser una laguna o una presa, que se ubica en una zona urbana.			
<b>Cambio climático</b> Se observa un cuerpo de agua, laguna o presa con los contaminantes más significativos que pueden llegar a un cuerpo de agua, que podría ser una laguna o una presa, que se ubica en una zona urbana.			
<b>Energía limpia para más y mejor agua</b> Se observa un cuerpo de agua, laguna o presa con los contaminantes más significativos que pueden llegar a un cuerpo de agua, que podría ser una laguna o una presa, que se ubica en una zona urbana.			
<b>Agua sin fronteras</b> Se observa cómo de acuerdo con la cantidad de agua de lluvia que cae la proporción de agua evaporada, la infiltrada en el subsuelo y la que escurre hacia los lagos y ríos.			
<b>Resiliencia. Responsabilidad de todos</b> Se observa la relación que existe entre agua y energía, destacando que sin el agua para generar energía eléctrica puede provocar problemas para el desarrollo del país.			

La exposición itinerante ha sido rotada por algunas sedes (museos, salas de conferencia o exposición) a nivel nacional, además de su permanencia en su sede principal en el auditorio del IMTA. En el año 2018 la exposición fue visitada por 2,865 personas de todos los niveles educativos subsecuentes a la primaria, de diferentes sectores relacionados directa e indirectamente con el manejo de los recursos hídricos en el país. La satisfacción general de los visitantes a la exposición fue elevada, de acuerdo con las evaluaciones de reacción llevadas a cabo en lo transcurrido del año 2019.



#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A través de los objetos de RA es posible fortalecer la comunicación de la problemática relacionada con la seguridad hídrica a nivel global y nacional, el discurso museográfico presentado que complementa las infografías diseñadas permite la reflexión y análisis respecto a las medidas de gestión necesarias que contribuyan al aseguramiento del desarrollo sostenible y la distribución justa del agua para toda la población.

La visualización de la red de distribución de agua, los criterios básicos de calidad del agua potable, contaminación, sobrexplotación del recurso hídrico con las actividades antropogénicas, las consecuencias de dicha degradación ambiental, así como los retos para asegurar una cobertura universal de agua potable para todas las personas y seres vivos, invita a conocer y reflexionar con la audiencia y espectadores, sobre el concepto de seguridad hídrica, la importancia de las relaciones entre la cantidad disponible, abastecida, suficiente, así como las condiciones mínimas necesarias o adecuadas del estado del agua para mantener la vida. En suma, la aplicación de la RA, el movimiento de sus visualizaciones hace posible fortalecer los conocimientos sobre el ciclo, los estados y las relaciones ecosistémicas con el agua y el ser humano. Todo lo anterior, lleva a pensar críticamente al visitante, la relevancia de llevar a cabo acciones locales y globales, desde los diferentes sectores sociales (económico, sanitario, energético, político) para favorecer el cuidado, tratamiento y manejo sostenible e integrado de las cuencas.

Se recomienda continuar con la evaluación de aprendizaje y reacción de los objetos de RA dentro de la exposición itinerante. Además de fortalecer la difusión de los elementos innovadores del uso, aplicación de tecnologías de la información como la RA en materia de seguridad hídrica que debido a sus implicaciones para la vida en la tierra es un tema de importancia global.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el apoyo del IMTA y el profesionalismo del personal de Animactiva, S.A de C.V.

#### 6. LITERATURA CITADA

- Alvarez-Marin, A., Castillo-Vergara, M., Pizarro-Guerrero, J., y Espinoza-Vera, E. (2017). Realidad aumentada como apoyo a la formación de ingenieros industriales. *Formacion Universitaria*, 10(2), 31–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062017000200005>
- Arturo, J. y Trápaga, B. (2014). Realidad Aumentada. Herramienta de apoyo para ambientes educativos Augmented reality . Support tool for educational environments.
- Basogain, X., Olabe, M., Espinosa, K., Rouèche, C., y Olabe, J. C. (2000). Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente. *Revista mexicana de tecnología*, 2(3), 14. Recuperado de <http://multimedia.chu.es>
- Boj, C. y Díaz, D. (2007). La Hibridación a Escena: Realidad Aumentada y Teatro. *Revista Digital Universitaria*, 8(6).
- Cabero-Almenara, J., Vázquez-Cano, E., y López-Meneses, E. (2018). Uso de la realidad aumentada como recurso didáctico en la enseñanza universitaria. *Formacion Universitaria*, 11(1), 25–34. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062018000100004>
- Flores, F. A., Azar, M. A., Herrera Cогnetta, A., y Paz, F. P. (2015). DesignAR: realidad aumentada aplicada al amoblamiento virtual interior y exterior de viviendas. XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. Recuperado de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45669/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45669/Documento_completo.pdf?sequence=1)

- Gómez, O., Vazquez, M., y Tentori, M. (2015). Diseño de un sistema de realidad aumentada para la prevención de obesidad en niños. 108, 19–26. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/a193/1f42242933d9ce896e5299db094ea696b071.pdf>
- Jauregui, D. (2016). Aplicaciones De Realidad Aumentada Para La Práctica De Los Profesionales Sanitarios: Revisión De La Literatura. 11–13. Recuperado de [http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/23468/APLICACIONES DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA PRÁCTICA DE LOS PROFESIONALES SANITARIOS\\_REVISIÓN DE LA LITERATURA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/23468/APLICACIONES_DE_REALIDAD_AUMENTADA_PARA_LA_PRÁCTICA_DE_LOS_PROFESIONALES_SANITARIOS_REVISIÓN_DE_LA_LITERATURA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Prendes Espinosa, C. (2014). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. Pixel-Bit, Revista de Medios y Educación, (46), 187–203. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i46.12>
- Quevedo, A. S. (2015). Realidad aumentada en dispositivos móviles “android” aplicada a la geolocalización de equipamientos de agua potable EMAPAL - EP. Universidad de Cuenca.
- Sarracino, F. (2014). ¿Mejora la realidad aumentada el aprendizaje de los alumnos? : una propuesta de experiencia de museo aumentado. Profesorado : revista de curriculum y formación del profesorado, 18(3), 18.



# **ID-301 POLITICAS PÚBLICAS Y SUSTENTABILIDAD DE LA CUENCA PROPIA DEL LAGO DE CHAPALA**

Ofelia Pérez Peña<sup>a</sup>, Ana Isabel Ramírez Quintana<sup>b</sup>, Miguel E. Magaña Virgen<sup>c</sup>

Cucba Universidad de Guadalajara, Camino Ramón Padilla Sánchez No. 2100 Nextipac, Zapopan, Jalisco,

<sup>a</sup> ofelia.perez@academicos.udg.mx, <sup>b</sup> ana.rquintana@academicos.udg.mx,

<sup>c</sup> miguele.magana@academicos.udg.mx

## **RESUMEN**

El Lago de Chapala históricamente ha sido objeto de múltiples discursos, inversiones y plataforma de justificación para que muchos políticos brillen en sus puestos utilizando la causa del lago; incluso también organizaciones no lucrativas de la sociedad civil han encontrado la manera de beneficiarse con el protagonismo que ejercen con el tema del lago. En este trabajo se examinan las políticas públicas desarrolladas por el Estado en la última década y que se proponen al menos en hipótesis avanzar hacia la sustentabilidad de la cuenca del Lago de Chapala. El interés es analizar los espacios de surgimiento de las políticas públicas para conocer su grado de dominancia y su influencia en las formas pasivas o activas de la gente en los espacios vividos, así como, las huellas que se plasman en los espacios y quedan en el territorio como evidencia de la vida cotidiana de la población en la transformación de su ambiente. El análisis se apoya en la dialéctica del espacio, la perspectiva de derechos humanos en el sentido de búsqueda del bienestar público y en los fines de la sustentabilidad. La cuenca del Lago de Chapala en las últimas 4 décadas ha sido uno de los pocos territorios con más beneficios por las inversiones, los diversos organismos gubernamentales y sociales creados y los múltiples planes y programas para su rescate conservación y desarrollo. El analizar las políticas públicas emergidas en este espacio permitirá avanzar en la formulación de ideas que contribuyan a conformar una agenda endógena para el desarrollo sustentable de la cuenca y el establecimiento de sinergias para garantizar el bienestar y el derecho a un medio ambiente sano.

Palabras clave: cuenca, políticas públicas, bienestar, sustentabilidad.

## **1 INTRODUCCIÓN**

La cuenca de Lago Chapala ha sido objeto de múltiples intervenciones gubernamentales. Desde los años 70 se han constituido más de 12 instrumentos de gestión, tales como: comisiones, comités, juntas técnicas, patronatos y consejos para atender su problemática y también se realizaron más de 15 grandes estudios entre planes y programas gubernamentales para diagnosticar y establecer estrategias para rescatar al Lago de Chapala y a la cuenca Lerma Chapala Santiago Pacífico. Las inversiones en la cuenca han sido cuantiosas. Tan sólo en el 2005, de 308.5 millones de pesos destinados a acciones en la cuenca Lerma Chapala, se destinaron un poco más de 79 millones para Chapala. (Cámara de Diputados, 2004).

El 27 de abril del 2010, el Congreso de la Unión aprobó un nuevo Dictamen presentado por la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales para la implementación del Plan Interestatal para la Sustentabilidad de la Cuenca del Lago de Chapala. La diferencia es que este dictamen fue producto de un proceso surgido desde lo local y consensado entre presidentes municipales de la cuenca de Chapala de los estados de Jalisco y Michoacán, líderes y diputados locales, organismos federales, estatales y académicos. Como seguimiento a la aprobación de este dictamen, el 12 de Junio del 2010, el Congreso de la Unión aprobó un Punto de Acuerdo en el cual exhortó a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), a la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y a los Gobiernos de Jalisco y Michoacán a emitir un convenio para implementar todos los acuerdos del Plan Interestatal. (Cámara de Diputados, 2010).

Para dar vida a este compromiso asumido por el Estado, el 7 de septiembre del 2010, se aprobó el Punto de Acuerdo mediante el cual se solicita a las Comisiones de Presupuesto, Cuenta Pública, de Recursos Hidráulicos y de Medio Ambiente y Recursos Naturales que consideren el programa operativo 2011 del Plan Interestatal para



la Sustentabilidad del Lago de Chapala. El 25 de noviembre del 2012, la Semarnat, el Gobierno del Estado de Jalisco y la Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable (Semades) firmaron el Convenio de Coordinación para dar cumplimiento al Plan. En este Convenio la Semarnat aportó 30 millones de pesos con cargo al presupuesto 2011, para la realización de las acciones del Plan. El Gobierno del Estado de Jalisco a través de la Semades se comprometió a instrumentar los mecanismos y herramientas materiales y humanas necesarias a efecto de llevar a cabo dichas acciones (Semarnat, 2012).

Para instrumentar las acciones del Plan Interestatal, los presidentes municipales acordaron constituir dos asociaciones intermunicipales una por cada estado. En el Estado de Jalisco se constituyó el 20 de mayo la Asociación Intermunicipal para la Protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala, (Aipromades) a la cual se sumaron primero 10 y posteriormente 6 municipios más. En el Estado de Michoacán no lograron organizarse debido a circunstancias relacionadas con las condiciones políticas y de violencia. En esta tesitura organizativa, el 17 de septiembre del 2012, el Gobierno del Estado de Jalisco firmó un Convenio de Colaboración, Ejecución y Participación entre el Gobierno del Estado de Jalisco con la Asociación Intermunicipal para la Protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala (Aipromades) para disponer de 37.5 millones pesos con cargo al Presupuesto de Egresos de la Federación 2012, para la ejecución de acciones del Programa Integral para la Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala (Gobierno del Estado de Jalisco, 2012). El total del gasto ejercido por Aipromades los dos primeros años (2010-2012) fue de 113.5 millones de pesos. También durante este periodo se aprobaron 200 millones de pesos para saneamiento de agua pero fue la línea que más dificultades presentó para su aplicación ya que la infraestructura que se requería era de competencia federal y estatal y aunque los municipios tienen presencia en los Comités de Cuenca (de la Conagua), eso no los legitima para el ejercicio de los recursos y por lo que quedaron fuera del manejo local y por más proyectos con tecnología innovadora, energía renovable y con bajos costos de mantenimiento que presentó Aipromades a las instancias federales y estatales correspondientes, los proyectos fueron archivado y el recurso no fue ejercido (López Ribera & Pérez Peña, 2015). En los siguientes años, del 2013 al 2019 del Presupuesto de Egresos de la Federación y del Gobierno Estatal se asignó para los trabajos de la Aipromades un poco más de 70 millones de pesos (Aipromades Lago de Chapala).

El 8 de marzo de 2019, el gobernador del Estado de Jalisco Enrique Alfaro Ramírez declaró que destinaría 1500 millones de pesos para el saneamiento de los ríos Santiago y Zula con el fin de evitar la contaminación del Lago de Chapala (Andalón López, 2019). El 14 de junio de 2019, el Gobernador presentó el Plan Maestro de Desarrollo de la Región Ribera de Chapala con una inversión de 533 millones de pesos para 2019, entre recursos estatales y federales (López, 2019).

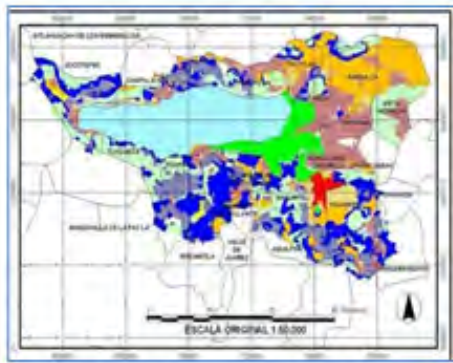
En este contexto, en el presente trabajo se analizan las políticas públicas desde los espacios en que son instituidas, su perspectiva de derechos humanos por el hecho de estar dirigidas a la consecución del bienestar público y en su alcance hacia la sustentabilidad de la cuenca.

En la actualidad, la condición del Lago de Chapala es de abundancia y durante el periodo de lluvias de 2018, alcanzó la cota de 96.34 de la máxima que es de 97.80 y su capacidad se incrementó al 78.97% de su capacidad total, lo que equivale a 6,236.26 Mm<sup>3</sup> de agua de un almacenamiento máximo de 7,897 Mm<sup>3</sup>; aunque esta situación es variable y no garantiza que no se vuelvan a originar periodos de escasez. Por otra parte, en la cuenca se presentan otros grandes problemas que afectan la sustentabilidad como la contaminación del agua, la pérdida de la biodiversidad, la expansión urbana hacia los cerros aledaños al lago, la erosión y compactación de los suelos por el ganado, la sobreexplotación de los mantos acuíferos con fines agroindustriales, la contaminación de los suelos por el uso excesivo de agroquímicos, entre otros factores que ponen en grave riesgo la sustentabilidad ecológica y social. En teoría las políticas públicas deberían responder a esta problemática.

## **2. LA CUENCA DEL LAGO CHAPALA Y SU ABORDAJE METODOLOGICO.**

En este trabajo el concepto de territorio se construye a partir de tres espacios: a) el territorio planteado en el Plan Interestatal para la Sustentabilidad de la Cuenca del Lago de Chapala que se circunscribe a la cuenca propia del Lago de Chapala, con una superficie de 6,306 km<sup>2</sup> e incluye, municipios de la Ciénega y sureste del estado de Jalisco y municipios del estado de Michoacán (figura 1); b) el territorio que corresponde a la cuenca del Lago de Chapala con una extensión de 9918 km<sup>2</sup>, en el cual se asientan municipios de las regiones Ciénega, Centro, Valles, Sur y Sureste del Estado de Jalisco y de Michoacán (figura 2); c) el territorio que incluye los municipios de la Ciénega que integran la Aipromades y que ocupa una superficie de 5,285.68 km<sup>2</sup> (figura 3).





**FIGURA 1.** Cuenca Propia del Lago de Chapala



**FIGURA 2.** Cuenca del Lago de Chapala



**FIGURA 3.** Municipios que integran la Aipromades

En esta construcción del territorio se integra el concepto de cuenca y de subcuenca para incluir afluentes importantes del lago y los componentes dinámicos del medio natural y social que nos permiten analizar las características de la superficie con las huellas marcadas por la presencia de los seres humanos. Este territorio, muy distinto a la dinámica general del Área Metropolitana de Guadalajara, conforma una transición entre lo urbano y lo rural, lo construido y lo natural.

La primera característica de este territorio es su estrecha vinculación con una cuenca mayor: la cuenca Lerma Chapala Santiago Pacífico lo que explica y determina parte de la dinámica y problemática del territorio de Chapala. La segunda característica es que se trata de una Región Hidrológica Prioritaria, una Región Terrestre Prioritaria, y un Área de Importancia para la Conservación de las Aves. Esta categorización que le otorgó a la región La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) es un reconocimiento a la gran riqueza natural manifestada en el Lago de Chapala y en las lagunas de Cajititlán, San Marcos, Sayula y Zapotlán, su gran biodiversidad al documentarse más de mil especies de flora y fauna; por las tierras fértiles para la producción de granos básicos y de frutos rojos, que despiertan el interés de grandes empresas trasnacionales, así como, por sus paisajes y climas favorables que son un gran atractivo para el turismo. La tercera característica tiene que ver con la problemática asociada al manejo insustentable de los recursos naturales y a un creciente proceso urbanizador. La huella de la ausencia de sustentabilidad se refleja en la contaminación del agua por el uso de agroquímicos, desechos industriales y aguas residuales domésticas; la contaminación y erosión de los suelos por las prácticas agrícolas intensivas; la compactación y pérdida de suelo y vegetación por el pisoteo del ganado; la pérdida de las áreas de recarga de los acuíferos y la disminución de la biodiversidad por la privatización de las tierras comunales y ejidales y los cambios de usos de suelo para urbanización. Estas características hacen de este espacio un lugar idóneo para ver las interacciones e imaginarios sociales y la formulación y aplicación de las políticas de los tres niveles de gobierno y sus vinculaciones con las políticas globales.

Ahora bien, el territorio entendido como espacio y lugar como señala Lefebvre es un producto social, un terreno en el que existen una serie de contradicciones y de disputas constantes por su definición uso y su control y se encuentra fragmentado por numerosas estrategias que se entremezclan y se superponen.

La principal contradicción...es la siguiente: de un lado hay la capacidad de conocer, de tratar, de transformar el espacio a una escala inmensa, e incluso a escala planetaria; y por otro lado, el espacio se halla fragmentado, pulverizado por la propiedad privada, ya que cada fragmento del espacio tiene su propietario. Está pulverizado para ser comprado y vendido... La producción del espacio es un fenómeno extraordinariamente complejo, y en la práctica las contradicciones... aparecen constantemente; porque unos conciben el espacio a gran escala, y otros no lo conciben sino a la escala de la propiedad privada. (Lefebvre, 1991).

Siguiendo la idea de la producción social del espacio, el enfoque lefebvriano señala una dialéctica del espacio donde el espacio es producto de cada sociedad, es la expresión de determinadas relaciones de producción que se dan en un momento dado, es el resultado de la acumulación de un proceso histórico en donde se entremezclan prácticas espaciales, representaciones simbólicas e imaginarios sociales que se materializan en una determinada forma espacial (Baringo, 2013).

En cada proceso histórico Lefebvre enfatiza una dialéctica compuesta por el espacio concebido, el espacio vivido y, el espacio percibido:



El espacio concebido, es el espacio dominante en las sociedades y es la representación del espacio conceptualizado por los especialistas y compuesto por signos y códigos usados y producidos por estos especialistas que están directamente ligados con relaciones de producción y al orden en que estas relaciones se imponen.

El espacio vivido, es el espacio de representación, del debería ser, el plenamente vivido. Es el que experimentan sus habitantes a través de símbolos e imágenes, supera el espacio físico y es evasivo ya que la imaginación busca cambiarlo y apropiarlo pero es un espacio dominado y experimentado de forma pasiva. Este espacio es objeto de deseo de los especialistas que intentan codificarlo, racionalarlo y usurparlo con sus discursos.

El espacio percibido. Son las prácticas espaciales cotidianas de producción y reproducción, de interacción, de conocimiento y de satisfacción de las necesidades mediante las cuales la gente transforma su medio ambiente construido (Baringo, 2013).

Con base en esta triáléctica y en la unidad de los campos aprendidos de forma separada: el espacio físico (la naturaleza), el espacio mental (las lógicas y las abstracciones) y el espacio social (las interacciones humanas), se analizan las acciones emprendidas en la cuenca para abrir múltiples posibilidades de reflexión para integrar una agenda de acciones estratégicas que contribuyan a activar el espacio vivido para crear espacios sustentables alternativos con perspectiva de derechos humanos.

Toda política pública y presupuestos con perspectiva de derechos humanos y de acuerdo con los estándares internacionales de derechos humanos, la acción del estado debe tener una serie de atributos como eficiencia, eficacia, economía, productividad y oportunidad, debe darle racionalidad a la acción estatal, ser participativa en la toma de decisiones, tener por objetivo resolver un problema y estar dirigida a la consecución del bienestar público para asegurar una vida digna para todas las personas que habitan y transitan por el territorio (OACNDUH, México, 2010).

Ahora bien no se puede hablar de la cuenca del Lago de Chapala sin que vaya implícita la sustentabilidad como criterio de desarrollo. Este enfoque es un eje transversal en toda la reflexión, en tanto que no se puede concebir un manejo integral de cuenca sin preservar los ecosistema y la biodiversidad que garantizan la preservación de los ciclos de la vida y el agua y los bienes y servicios ambientales para la supervivencia humana.

### **3. EL PLAN INTERESTATAL PARA LA SUSTENTABILIDAD DE LA CUENCA DEL LAGO DE CHAPALA VS EL PLAN MAESTRO DE DESARROLLO DE LA REGION RIBERA DE CHAPALA.**

#### **Espacios concebidos, espacios vividos y percibidos en sus interacciones con el bienestar público y la sustentabilidad.**

El Plan Interestatal para la Sustentabilidad de la Cuenca del Lago de Chapala surge en el año 2009, como respuesta a las necesidades planteadas por los usuarios del agua y los problemas percibidos en el Lago de Chapala. El Plan fue concebido desde los comités intermunicipales y las presidencias municipales hasta lograr su consolidación a nivel interestatal. Su elaboración estuvo a cargo de un grupo interdisciplinario de académicas y académicos de 4 instituciones educativas del país (UdG, Ciesas, IPN, Unam) y de un grupo interinstitucional integrado por funcionarios de la Semarnat de Jalisco y Michoacán, la Conafor, la Comisión Estatal de Agua de Jalisco y la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (Suma) de Michoacán, entre otras.

El Plan responde a la necesidad de actuar desde lo local y busca el manejo sustentable de los recursos de la cuenca con la visión de tener una mejor calidad de vida y disponibilidad de los recursos dando prioridad al agua. El Plan recoge la problemática de contaminación del agua, el continuo deterioro del lago, la sobreexplotación de las aguas subterráneas, el desequilibrio de los ecosistemas que afectarán a la larga el sostenimiento de los sistemas acuíferos, la afectación del sector agropecuario por la degradación de los suelos y la escasez de agua cuyo descenso productivo significa el agravamiento de la crisis del campo, el deterioro de la ganadería y sus derivados, la caída de la acuacultura y del sector pesquero, la baja producción forestal, el estancamiento de la producción industrial principalmente en la transformación de alimentos y el decremento de la actividad turística.

Como objetivo general se planteó: emprender de forma interestatal e interinstitucional un plan para la conservación, manejo integral y sustentable del agua, con el fin de establecer bases que permitan avanzar en la protección del medio ambiente y el desarrollo sustentable de la cuenca propia del Lago de Chapala. El área de intervención la conformaba el territorio de los municipios de la cuenca propia del Lago de Chapala y de las subcuencas de los ríos Zula y Duero.



La Aipromades fue el organismo mediante el cual se llevaron a cabo algunas de las acciones planteadas en el Plan. En esta Asociación intermunicipal cabe distinguir dos etapas. La primera implementada de los años 2009 a 2012 se identifica por la creación, gestión de recursos e implementación de las primeras acciones del Plan de forma más autónoma. En esta etapa Aipromades experimentó un crecimiento súbito y notables capacidades de gestión que contribuyeron a la creación de infraestructura principalmente destinada al manejo de residuos sólidos, al trabajo directo con la población y a sentar las bases de la planeación ambiental (Aipromades, 2019); se trabajó de forma coordinada entre autoridades municipales, autoridades estatales relacionadas con el agua, autoridades federales como la Semarnat y Conafor, académicos y, representantes de la asociación. El Plan y los recursos económicos fueron gestionados por el Diputado y ex presidente del municipio de Jocotepec, Jalisco, en conjunción con los munícipes y el Director de Aipromades. Lo interesante es que la Aipromades estaba conformada por presidentes de 4 partidos políticos diferentes quienes hacían gestión con sus respectivas fracciones. Las propuestas que se presentaban al Congreso y a la Semarnat las desarrollaban los miembros de la Aipromades en conjunción con los académicos. Las decisiones para priorizar acciones eran tomadas por las autoridades municipales que conformaban Aipromades, solo se enfatizaba la necesidad de fortalecer todos los ejes planteados en el Plan para avanzar de manera integral.

En esta fase se tuvo un amplio trabajo con la población local de tal forma que se generó una dinámica que el espacio vivido pasó de ser pasivo a ser plenamente vivido. A partir de los programas de capacitación se generó una amplia Red de Líderes Ambientales quienes a su vez lograron que gran parte de ciudadanas y ciudadanos de sus comunidades tuvieran una fuerte participación con impactos directos que mejoraban sus condiciones de vida local. La activación del espacio vivido rompió inercias que se vieron reflejadas en el espacio percibido en donde en la vida cotidiana se empezaron a incorporar cambio en los hábitos como el suprimir las quemadas agrícolas, disminuir los agroquímicos, producir e incorporar los abonos orgánicos, disminuir el alto consumo de gas butano, realizar obras comunitarias de saneamiento para evitar que las aguas residuales se mezclaran en los ríos y arroyos (Torres González, Pérez Peña, & López Ribera, 2013). En esta etapa la asociación se financiaba con recursos propios que aportaban los municipios participantes y que representaba el 0.1% de su presupuesto, obligación que los municipios no cumplían con regularidad por lo que la asociación operaba más por la buena voluntad y disponibilidad del cuerpo técnico y administrativo que por el recurso económico que percibía. Esta situación de morosidad se sigue presentando ya en el 5 de octubre de abril del 2019, el Consejo administrativo integrado por los mismos presidentes municipales anuló el adeudo de los municipios con Aipromades que ascendía a 1 millón 387 mil 989 pesos, en detrimento de las acciones que se podrían implementar (Ramírez Blanco, 2019).

La segunda etapa de 2013 a 2019 se determina por dos coyunturas, una primera entre el año 2013 y principios del 2015 en la que la Asociación vive un “impass” que afecta su operación y la segunda en la que la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (Semadet) emprende su rescate administrativo y su rediseño institucional. El 23 de junio de 2015, los municipios ratifican su permanencia en la Asociación (Aipromades Lago de Chapala). Esta segunda etapa se explica porque en la cuenca se había desarrollado un proceso concebido, vivido activamente y percibido desde lo local pero que entró en contradicción con el poder estatal por su gran poder de gestión de recursos económicos ante el poder federal y autonomía en la toma de decisiones. Es así como el Estado amenaza con retirar recursos económicos a los municipios sino entregaban la dirección de la Asociación. A pesar de la negativa en un inicio de sus munícipes, el poder dominante del Estado termina por imponerse y paralizar la Asociación para posteriormente “rescatarla” e imponer su representación del espacio concebido. El Estado había adoptado un modelo intermunicipal que quiso imponer en todo el territorio. La diferencia entre el modelo de Aipromades y el impuesto por el Estado que todavía prevalece es que la Aipromades lo dirigía un equipo mínimo de técnicos porque la definición y puesta en marcha de las políticas la llevaban a cabo los directivos y operativos de todos los municipios pertenecientes a la Asociación. El modelo impuesto por el Estado se basa en un grupo más amplio de técnicos con responsabilidades específicas que son los encargados de llevar a cabo las acciones junto con especialistas contratados según las necesidades.

Las líneas de acción del Plan Interestatal fueron asumidas y adecuadas a sus condiciones locales y a la temporalidad histórica por la Aipromades y las acciones emprendidas en sus dos fases de una u otra manera guardan similitud como se observa en la tabla 1.

<b>TABLA 1. Ejes y líneas de acción del Plan Interestatal para la Sustentabilidad de la Cuenca del Lago de Chapala y Aipromades</b>		
<b>Plan Interestatal</b>	<b>Aipromades Fase I (2010-2012)</b> Inversión 113.5 millones de pesos	<b>Aipromades Fase II (2013-2019)</b> Inversión \$70 millones de pesos
Infraestructura	Manejo integral de agua y residuos	Manejo integral de los residuos sólidos
Gestión institucional	Sinergia y gestión interinstitucional	Fortalecimiento de capacidades
Investigación y monitoreo	Ordenamiento del territorio y áreas verdes	Gestión territorial, Gobernanza del agua, Gestión climática
Normatividad .	Profesionalización y reglamentación municipal	Fortalecimiento y desarrollo institucional
Cultura ambiental y del agua	Cultura para la Sustentabilidad Local	Cultura ambiental
Conservación y restauración ambiental.	Conservación, restauración de ecosistemas y producción sustentable	Manejo y Conservación de ecosistemas y su biodiversidad
		Gestión y procuración de fondos

Fuente: (Aipromades, 2019), (Plan para la sustentabilidad de la cuenca propia del Lago de Chapala, 2009) .

Una línea de acción del Plan Interestatal que ha visto rezagada en su implementación es la de Infraestructura para el saneamiento integral y uso eficiente del recurso hídrico y en parte se debe a que como mencionamos anteriormente esto es principalmente competencia de instancias federales y estatales y aunque los municipios tienen presencia en los Comités de Cuenca, dependen de las concesiones y decisiones federales y estatales. En esta línea se plantea la construcción y rehabilitación de plantas de tratamiento con uso de energías renovables, la construcción de humedales, la modernización de los módulos de riego, la modernización del sistema de alcantarillado y agua potable, el establecimiento de los sistemas intermunicipales de manejo integral de residuos, y la masificación de ecotecias para la captación, manejo, uso eficiente y saneamiento del agua.

En las otras líneas el Plan Interestatal también plantea metas más amplias como tarifa agrícola para plantas de tratamiento, profesionalización de los responsables y mandos medios de la operación del agua en los municipios, homologación integral de directivos económica y de capacitación, mecanismos jurídicos para el correcto funcionamiento de la infraestructura de saneamiento, capacidad de gestión de gobiernos municipales, identificación y manejo y solución de problemas técnicos para un mejor servicio, un sistema de información base para la toma de decisiones de los actores de la administración pública relacionados con el recurso hídrico, inventarios de aguas residuales y evaluación de su impacto por zonas, red de medición y monitoreo del agua tanto en cantidad (hidrométrica y climatológica) como su calidad (índices de calidad del agua), entre otras acciones.

Ahora bien, el reciente proyecto anunciado para la región, es el Plan Maestro de Desarrollo de la Región Ribera de Chapala que viene con un recurso asignado de fondos federales y estatales de 553 millones de pesos para ejercerse en el 2019. Este proyecto se ha presentado con gran estruendo y de acuerdo a palabras del gobernador será “de primer mundo”. (Laguna, 2019). Según se ha señalado, este Plan impulsara los verdaderos cambios con el cuidado medioambiental y no a costa de la naturaleza como eje rector de todas las decisiones que se definan. El Plan está en proceso de desarrollo y los estudios se están haciendo a vapor, con escasa investigación de campo y abundantes fuentes de información web. Lo que se muestra en la tabla 2 son algunos de los ejes y actividades anunciadas que formaran parte de este Plan.



<b>TABLA 2. Bases del Plan Maestro de Desarrollo de la región ribera de Chapala Inversión 533 millones de pesos en 2019</b>	
<b>Ejes</b>	<b>Acciones</b>
<b>Infraestructura vial</b>	Reconstrucción de la carretera Jocopetec-Chapala Conservación de las carreteras 128, 121, 129, 191 Puentes, el Libramiento de San Luis Soyatlán Ciclovia de Chapala Transporte lacustre para que barcos presten servicio a los turistas y pobladores Tren Guadalajara-Chapala (2024)
<b>Infraestructura social y productiva</b>	Servicios e instalaciones para rellenos sanitarios y el manejo final de residuos Plan de salud para adultos mayores Atención a la población infantil con enfermedad renal Infraestructura deportiva Modernización de líneas de drenaje y alcantarillado Intervención en escuelas de educación básica, media y superior Construcción y remodelación de malecones Pavimentación de calles
<b>Protección del patrimonio natural y cultural</b>	Ordenamiento del territorio Saneamiento del río Santiago, Lago de Chapala y río Zula Estrategias de conservación de los escurrimientos que desembocan en el lago
<b>Crecimiento y desarrollo económico</b>	Aprovechamiento de potencial de los poblados con patrimonio de valor histórico Agroparques Corredores turísticos, mercados y corredores gastronómicos Servicios de transporte lacustre Chapala Media Park para la industria de la animación y tecnológica Centro de innovación tecnológica
<b>Seguridad</b>	Bases de la guardia militar Aplicación de estrategias de seguridad

Fuente: (López, 2019),

El Gobierno Estatal también ha invertido 1.15 millones de pesos en concluir la obra escultórica de Jesús el Pescador, la cual ha despertado muchas polémicas por haberse construido en el lecho del lago sin permisos de impacto ambiental y en zona federal.

Lo que queda claro de los dos planes es que el Plan Interestatal aún con sus cambios, es más cercano a la gente y ha sido concebido, vivido y percibido más localmente, se enfoca más en la sustentabilidad y en la consecución del bienestar público regional y el Plan Maestro es un proyecto concebido desde el poder dominante, sigue un estilo de desarrollo exógeno de grave riesgo para la sustentabilidad ambiental y de grandes beneficios para empresas privadas.

## La sustentabilidad de la cuenca. Que nos dicen las huellas del territorio.

El impacto de una década de acciones en la cuenca del lago puede ser medido a partir de diversos factores, pero para efectos de este trabajo solo analizaremos dos: los cambios en el uso del suelo y la calidad del agua del lago. En las figuras 1 y 2 se puede observar el cambio en los usos del suelo en la ribera del Lago de Chapala de los años 2013 y 2019



**FIGURA 4.** Usos del suelo en la ribera del lago de Chapala 2013



**FIGURA 5.** Usos del suelo en la ribera del lago de Chapala 2019

A simple vista se aprecia una pérdida en la cobertura de bosque y efectivamente al revisar los datos se observa que en 6 años, el bosque denso se perdió en un 42%, y la vegetación semi-densa en un 36%, en cambio el pastizal aumentó en un 4% y la agricultura protegida en un 179%. Es importante señalar que en el territorio de la ribera existen dos áreas naturales protegidas: la primera decretada el 18 de mayo del 2013, con la categoría de Área Estatal de Protección Hidrológica Cerro Viejo Chupinaya Los Sabinos con una extensión de 32,129.18 ha; la segunda decretada el 31 de enero del 2018, con la categoría de Área Estatal de Protección Hidrológica Sierra Cóndiri Canales y Cerro San Miguel Chiquihuitillo con una extensión de 18,808.91 ha. No obstante los esfuerzos por protección de las áreas naturales hay varios fenómenos que están afectando el territorio, los principales se deben a que en las partes altas los ejidos y comunidades indígenas han perdido la cultura del uso y disfrute sobre las tierras de uso común, se han repartido estas tierras para adquirir los derechos parcelarios individuales, con ello se ha dado un proceso de lotificación y venta de terrenos, también, hay pérdida de vegetación por el sobrepastoreo del ganado que ha sido excluido de las partes bajas a la expansión de la agricultura protegida. De hecho, el sector ganadero es el más afectado por el resto de las actividades productivas, en especial por la agricultura protegida, la cual elimina todo tipo de vegetación existente en el área al iniciar el desarrollo de los cultivos.

En cuanto a la contaminación, de acuerdo a un estudio realizado por el Iteso en el 2018, se concluye que todos los parámetros químicos presentan promedios más altos a los señalados como niveles máximos permitidos en la normatividad.

En la zona noreste del lago han demostrado tener concentraciones promedio elevadas para los parámetros Coliformes Fecales, E-Coli, Arsénico, Cromo, Nitrógeno Orgánico, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Nitrógeno Total; las estaciones ubicadas en la zona sureste del lago resultaron tener promedios elevados para Coliformes Fecales, Mercurio, Nitrógeno en forma de Nitrógeno Amoniacal, Nitratos y Nitritos, Cromo y Sólidos Suspendedos Totales; las estaciones ubicadas en la zona oeste en general presentan concentraciones promedio elevadas para los parámetros Arsénico,

Coliformes Fecales y E-Coli, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Cromo; para la parte norte del lago, las estaciones 92 de monitoreo presentaron concentraciones elevadas de DBO, DQO y Plomo, mientras que las estaciones de monitoreo de la zona sur, identificaron Coliformes Fecales, E-Coli, Cromo y Fósforo (Sanchez Torres, Nuño Sánchez, Martinez Alvarado, & Ruiz Cruz, 2018)".



Este informe concluye que hay descargas negras sin ningún tratamiento y residuales de agroquímicos, y no obstante algunos resultados cumplen con las normas nacionales, pero no cumplen con los parámetros marcados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). El parámetro de Demanda Química de Oxígeno (DQO) clasifica al agua como contaminada; el parámetro Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) del lago se mantiene como aceptable después de la clasificación buena calidad; la medición de Líquidos Suspendidos Totales (SST) rebasa el límite permisible por la norma y, los Sólidos Disueltos Totales (SDT) que indica que el agua del lago es dulce rebasa la norma de la OMS. Por otra parte, el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño en el Estado de Jalisco (Ciatej) de acuerdo a una evaluación de la calidad de agua de fuentes de abastecimiento con presencia de CDEs (compuestos disruptores endócrinos) y su riesgo potencial a la salud pública realizado entre los años 2015 y 2017 reporta la presencia de fármacos y esteroides, así como, estrogenicidad en las muestras concentradas, lo que indica que podría haber un riesgo potencial de afectación de flora y fauna acuática de manera directa. Otro resultado fue que está en riesgo de no poder utilizarse como fuente de agua potable el agua del lago (Torres López, 2018).

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la cuenca del Lago de Chapala se viven contradicciones muy fuertes a nivel del uso y apropiación del territorio en varios sentidos. Por un lado hay toda una comunidad local que se siente cohesionada por un territorio vinculado por el Lago de Chapala y que ha unido sus esfuerzos para proponer políticas públicas que generen acciones regionales que propicien un ambiente más sano en sus ecosistemas y su biodiversidad, y que mejoren la calidad de vida de sus comunidades con la preservación del vasto patrimonio cultural. Por otro lado, hay todo un poder estatal que trata de reproducir un modelo de desarrollo económico exógeno basado en el modelo de modernización estadounidense “modelo gringo” y que pretende replicarse en diversas regiones del Estado. Se trata de un modelo de consumo de masas, de expansión de empresas comerciales, del crecimiento de la industria del entretenimiento y del incremento del proceso urbanizador con sus graves consecuencias en el ambiente. Existe otra contradicción representada por un grupo amplio de poseedores de la tierra comunal y privada, quienes se debaten entre la preservación de los usos productivos tradicionales, la incorporación de los nuevos cultivos, la conservación del territorio y el prometedor modelo de “gran desarrollo” que les generaría altas sumas de recursos económicos por la venta de las tierras para usos urbanos.

Estas contradicciones aunque no son muy claras se manifiestan en las prácticas sociales. En coyunturas donde lo endógeno es lo dominante, los espacios concebidos, vividos y percibidos se unifican y propician una participación más activa, no sucede así cuando el espacio concebido y dominante es exógeno, el espacio vivido continúa pasivo y el espacio percibido continúa relacionándose con el ambiente como cotidianamente lo hace. La política del Plan Interestatal surgió desde lo local y como una nueva apuesta ante las múltiples imposiciones externas nacionales y estatales, fue cooptada y redirigida a los intereses del gobierno estatal, no obstante las experiencias vividas de la gente local a través de las acciones principalmente educativas del Plan Interestatal fueron experimentadas de forma más activa mientras hubo este involucramiento. En el momento en que el Plan se institucionaliza y pasa a ser manejado de forma más directa por la autoridad estatal, se deja de participar y se pasa a una forma más pasiva.

Los problemas que intentan resolver las políticas públicas expresadas a través del Plan Interestatal y el Plan Maestro aunque manejan un discurso similar, son completamente opuestas y sus acciones antagónicas, no obstante, son promovidas desde el mismo Estado pero están lejos de garantizar y asegurar el derecho a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de la población de la cuenca. Se necesita revitalizar la participación y fortalecer la gobernanza local para que se potencialice el espacio vivido de forma activa. La autonomía de la Aipromades y la reactivación de la Red de Líderes Ambientales sería un primer paso.

La sustentabilidad de la cuenca continúa siendo un discurso atractivo para la procuración de fondos, pero éstos no llegan a los poseedores de la tierra que son los que realmente necesitan el recurso para garantizar que los bienes y servicios ambientales de la cuenca se sigan preservando. Existe mucha inconformidad por los decretos de las áreas naturales protegidas, las áreas comunes se siguen privatizando, talando y lotificando, el ganado aún no se ha controlado y las acciones emprendidas con poco presupuesto estatal son acciones aisladas que escasamente contribuyen a mejorar el manejo del área. El dinero invertido y por invertir a lo largo de una década muy poco ha contribuido a la sustentabilidad de la cuenca. Los beneficiarios de las grandes inversiones proyectadas serán unas cuantas empresas y personas de capital privado.



No existen acciones claras respecto al saneamiento del agua, es un tema prioritario, es un discurso muy trillado pero en la práctica la contaminación del lago, de la cuenca de Chapala y de la cuenca Lerma Chapala Santiago Pacífico continúa perpetuándose.

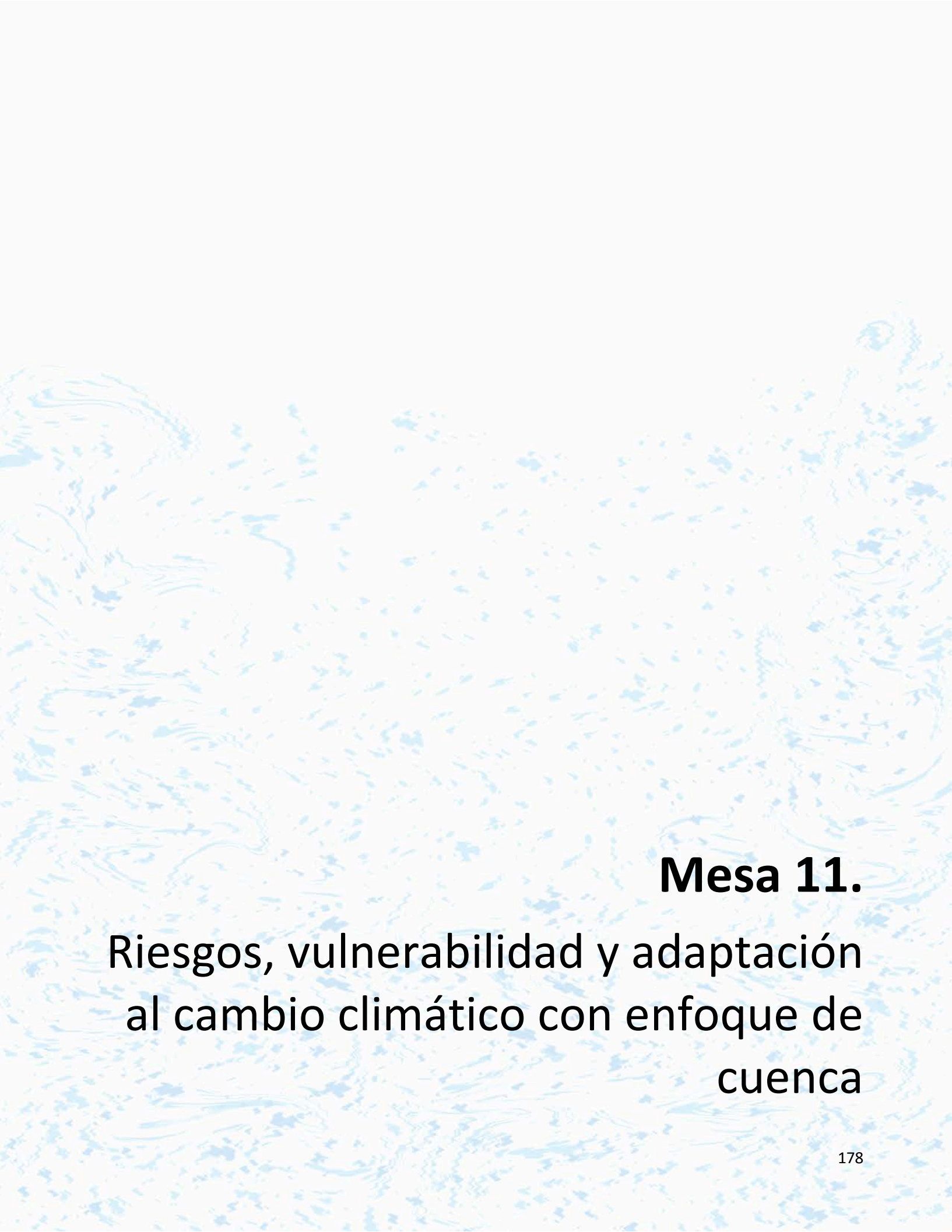
El Plan Maestro de Desarrollo de la región ribera de Chapala tal como se ha anunciado pondrá en mayor riesgo la sustentabilidad de la cuenca del Lago de Chapala. El proyecto de desarrollo regional es un objeto de deseo insustentable de los tecnocrata que está codificando y racionalizando con planos proyectos y discursos, sin que surja de la gente local y se está viviendo de forma pasiva por población y esto agravará aún más los problemas ambientales.

Se hace necesario reorganizar las prioridades de la cuenca con base en estudios técnico-científicos profesionales de calidad y no “express” y de “copia y pega” como se están haciendo para sacar el Plan Maestro a vapor. Es necesario retomar los múltiples estudios históricamente realizados, que se incluya la participación activa de todos los grupos sociales en especial los grupos en situación de discriminación o exclusión. Las alternativas de desarrollo deben potenciar las oportunidades sociales y económicas de hombres y mujeres y de los poseedores de la tierra, garantizando el derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Plan para la Sustentabilidad del Lago de Chapala sigue teniendo validez porque su objetivo no se ha alcanzado, pero se tienen que crear organismos sociales autónomos locales interdisciplinarios y transdisciplinarios que en sinergia con la academia y los tres niveles de gobierno avancen en el cumplimiento del Plan.

## 5. LITERATURA CITADA

- Aipromades Lago de Chapala. (s.f.). Aipromades.org. Recuperado el 02 de septiembre de 2019, de Transparencia: <http://aipromades.org/>
- Andalón López, F. (8 de marzo de 2019). Destinaré 1500 mdp para sanear ríos. Página 24 Jalisco.
- Baringo , E. D. (2013). La tesis de la producción del espacio en Henry Lefebvre y sus críticos: un enfoque a tomar en consideración. Quid 16 , 119-135.
- Cámara de Diputados . (2004). Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2005. México: H.Congreso de la Unión .
- Cámara de Diputados. (27 de abril de 2010). Dictámenes. Gaceta parlamentaria, págs. 6-10.
- Gobierno del Estado de Jalisco. (17 de septiembre de 2012). Convenio de colaboración , ejecución y participación entre el Gobierno del Estado de Jalisco y la Aipromades, Lago de Chapala. Guadalajara, Jalisco, México: Gobierno del Estado de Jalisco.
- Laguna. (23 de junio de 2019). Proponen más de 500 millones para desarrollar la Ribera. Laguna.
- Lefebvre, H. (1991). The production of space. Oxford: Blackwell.
- López , P. (14 de junio de 2019). Presentan el Plan de Desarrollo Regional de Chapala. El Informador.
- López Ribera, M. I., & Pérez Peña, O. (2015). La Aipromades, sinergias y alianzas estratégicas para la sustentabilidad de la cuenca del Lago Chapala. En A. Burgos, G. Bocco, & J. Sosa Ramírez , Dimensiones sociales en el manejo de OACNDUH,México. (2010). Políticas públicas y presupuesto con perspectiva de derechos humanos. México: OACNUDH.
- Plan para la sustentabilidad de la cuenca propia del Lago de Chapala. Chapala (2009).
- Ramírez Blanco, M. (05 de octubre de 2019). Se anula adeudo de los municipios con la Aipromades de 1 millón 387 mil 979 pesos. Ocotlán, Jalisco, México.
- Sanchez Torres, J., Nuño Sánchez , S., Martinez Alvarado, J., & Ruiz Cruz, R. (2018). Reporte de análisis de datos de calidad del agua del Lago de Chapala. Guadalajara : Iteso.
- Semarnat . (2012). Sexto informe de labores . México : Semarnat.
- Semarnat. (25 de noviembre de 2012). Convenio de coordinación. Plan Interestatal para la Sustentabilidad de la Cuenca del Lago Chapala. México, México: Semarnat.
- Torres González, L. G., Pérez Peña, O., & López Ribera, I. (2013). Comunidades sustentables en adaptación al cambio climático en la cuenca de Chapala. Ichan tecolotl Ciesas, 3-8.
- Torrres López, Y. (24 de enero de 2018). Prevención de vertido de contaminantes en el Lago de Chapala. Ciatej.





## **Mesa 11.**

# **Riesgos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático con enfoque de cuenca**

## ID-014: 'CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS CON VARIACIONES EN LA INCIDENCIA DE ENFERMEDADES INFECCIOSAS CON RELACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO'

Autor principal: Angélica L. Jiménez Hernández<sup>120</sup>

Coautor: Mauricio Bretón González<sup>221</sup>

A principios de la década de 1990 la población estaba poco sensibilizada ante los riesgos de los cambios climáticos globales para la salud, lo que reflejaba un desconocimiento general de la forma en que la alteración de los sistemas biofísicos y ecológicos puede afectar a largo plazo al bienestar y la salud de las poblaciones. En la actualidad aún no existen estudios que nos ayuden a conocer el nivel de conocimiento al respecto. Los especialistas en ciencias naturales eran poco conscientes de que los cambios experimentados por sus objetos concretos de estudio (condiciones climáticas, reservas de biodiversidad, productividad de los ecosistemas, etc.) podían tener repercusiones en la salud humana. Buen reflejo de ello es la exigua referencia que a los riesgos para la salud se hace en el primer gran informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), publicado en 1991 (OMS, 2003).

El IPCC fue creado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1988. Su misión es evaluar la bibliografía científica publicada en el mundo sobre las cuestiones siguientes: (i) cómo han influido y es probable que influyan las alteraciones antropogénicas de las capas bajas de la atmósfera, debidas a la emisión de gases de efecto invernadero, en los patrones climáticos del mundo; (ii) cómo afecta y afectará esto a diversos sistemas y procesos importantes para las sociedades humanas; y (iii) de qué respuestas económicas y sociales disponen los responsables de políticas para impedir el cambio climático y atenuar sus repercusiones (IPCC, 2001).

El IPCC y la evaluación de las repercusiones en la salud en su Tercer informe de evaluación, el IPCC llegó a la siguiente conclusión:

*"Según las proyecciones, en general el cambio climático aumentará los peligros para la salud humana, sobre todo en las poblaciones de menores ingresos de los países tropicales y subtropicales".*

El resumen afirma seguidamente:

*"El cambio climático puede afectar a la salud de manera directa (consecuencias de temperaturas demasiado altas o bajas, pérdida de vidas y lesiones en inundaciones y tormentas) e indirecta, alterando el alcance de los vectores de enfermedades, como los mosquitos, y de los patógenos transmitidos por el agua, así como la calidad del agua, la calidad del aire, y la calidad y disponibilidad de los alimentos".*

---

<sup>20</sup> Angélica Jiménez, colaboradora de la fundación Manantlán y Consultora Ambiental

<sup>21</sup> Mauricio Bretón, profesor investigador de la Universidad de Colima



El impacto real en la salud dependerá mucho de las condiciones ambientales locales y las circunstancias socioeconómicas, así como de las diversas adaptaciones sociales, institucionales, tecnológicas y comportamentales orientadas a reducir todo el conjunto de amenazas para la salud (IPCC, 2001).

Estas posibles repercusiones del cambio climático sobre la salud humana tienen distintos efectos entre los cuales podemos encontrar el aumento de enfermedades transmitidas por vectores como el Dengue, Chicungunya y Zica, debido a la proliferación del *Aedes Aegypti* por la temperatura y humedad ideal para su reproducción, así como las enfermedades generadas por la alteración de la frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos y los daños a los sistemas ecológicos y sociales, con lo cual se ven aumentadas con sinergia por la falta de agua potable las enfermedades diarreicas agudas (EDAs) e infecciones respiratorias agudas (IRAs). En este documento se estudia el comportamiento de la morbilidad en el estado de Colima como un estudio retrospectivo 1999-2015, donde se analiza la incidencia de estas enfermedades y el impacto del cambio climático en materia de salud en el estado.

Por otra parte, el análisis de esta información nos permite crear escenarios que predigan la causalidad de los fenómenos y brinden estrategias de prevención. Para esto, con la percepción remota es probable obtener información a diferentes escalas y niveles. Así, a nivel regional, la percepción remota ofrece nuevas perspectivas sobre el inventario y monitoreo de condiciones de sequía sobre grandes superficies, permitiendo generar información geoespacial continua relacionada con la heterogeneidad y complejidad que presenta el paisaje, lo que permite llenar vacíos de información, particularmente la relacionada con los datos que aportan la red de estaciones meteorológicas basadas en tierra, como en el caso de México que no tiene una red de observación y de información suficiente.

### **Cambio climático y sus consecuencias en la salud.**

Hace más de diez años la mayor parte de los países del mundo se adhirieron a un tratado internacional, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1997, se le adiciona después el Protocolo de Kioto. Desde 1998 un grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático ha examinado las consecuencias de este cambio, entre otros el impacto en las enfermedades infecciosas (Canzani, et. al., 2000).

Canzani pone en nuestro considerando que los efectos del cambio climático a nivel global inciden en la compleja interacción entre el huésped y el agente infeccioso. Para los humanos los cambios en el ambiente pueden desatar la inmigración y con ellos iniciar nuevos patrones de distribución de enfermedades. La migración humana afectaría a los actuales asentamientos humanos y a la infraestructura de salud pública existente en los países. Este escenario puede ser empeorado por la desnutrición, debido a la pérdida de cosechas y generación de hambrunas con la consecuente predisposición del huésped a la infección.

Aunque en los últimos años los estudios denotan la relación del Cambio Climático con las enfermedades infecciosas, Staropoli (2002) menciona que no ha sido posible cuantificar el riesgo exacto de las consecuencias del cambio climático en relación a enfermedades infecciosas, este impacto depende de la compleja interacción entre el huésped y el agente causal. Algunos efectos en la salud son conocidos como consecuencia de desastres en

los ecosistemas naturales, por ejemplo, una condición climática alterada puede cambiar el hábitat de vectores tales como los mosquitos, ratas y diversos parásitos que acarrean agentes patógenos. El efecto del cambio climático en la salud dependerá también de la capacidad de respuesta del humano y de los sistemas de salud pública que se implementen.

Muchos esfuerzos en medicina preventiva deberán realizarse con tiempo, sin embargo, una categoría especial de enfermedades infecciosas, las transmitidas por vectores deberán ser la gran preocupación de América Latina incluyendo a la república mexicana, porque tienen un entorno tropical y subtropical muy extenso, sus habitantes están expuestos a un número de enfermedades típicas de la zona. Muchas comunidades viven en la pobreza con una desnutrición prevalente y una exposición crónica a agentes infecciosos (Liang, et. al., 2002).

### **Objetivo General.**

Caracterizar las zonas de riesgo con relación a la incidencia de enfermedades en el estado de Colima, utilizando herramientas de Información Geográfica (SIG) y realizando análisis estadísticos que relacionen las enfermedades infectocontagiosas con las variables ambientales y climáticas.

### **Objetivos Específicos.**

- Analizar los datos históricos (1999-2014) de la Secretaría de Salud sobre las enfermedades infectocontagiosas derivadas por Cambio Climático.
- Generar una base de datos con los puntos de infección en el estado.
- Generar mapas de zonificación con los diferentes grados de afectación.
- Hacer recomendaciones para la mitigación de la proliferación de las enfermedades en el estado.

### **Sitio de estudio.**

El estado de Colima se encuentra situado en la parte occidental de la república mexicana, sobre la costa meridional del océano pacífico, entre los 103° 28' 58.5" y 104° 42' 7.7". Colima cuenta con un extensión total de 5,634.3 km<sup>2</sup> y una población de 650,555 habitantes, de conformidad con los resultados del XII Censo General de Población y Vivienda, 2010 (INEGI, 2010), distribuidos en diez municipios.

### **Clima**

#### ***Temperatura***

El Estado presenta temperaturas mínimas de entre los 18, 19 y 20°C. Las temperaturas máximas oscilan entre los 26°C y los 32°C.

#### ***Precipitación***



El Estado presenta precipitaciones que van desde los 501 mm hasta más de 1978 mm anuales bajo un régimen completamente de verano. Los meses más lluviosos son junio, julio, agosto, septiembre y octubre.

### **Procedimiento.**

Se planteó el desarrollo de un estudio piloto sobre escenarios de riesgos en salud asociados a variaciones climáticas, llevado a cabo en los 10 municipios del estado de Colima, contemplando sus tres jurisdicciones sanitarias. Para cuantificar la vulnerabilidad estatal a la incidencia de dengue, chicungunya, Zica, EDA e IRA se consideran diversos indicadores de vulnerabilidad, dependiendo de la enfermedad. Estos indicadores incluyen componentes como municipios afectados por los eventos en salud, población potencialmente expuesta e identificación de los factores geográficos, físicos, demográficos, sociales y poblacionales. Dados los umbrales de temperatura ideales para la sobrevivencia de los patógenos y vectores de las enfermedades, se realizó el análisis agregando los datos por mes por municipio las estimaciones anuales para observar el avance de la enfermedad a través de los años. Para la asociación entre eventos en salud y variables climáticas, se observó el comportamiento de las variables, su tendencia y variaciones estacionales a través del tiempo, se calcularon los coeficientes de correlación haciendo un estudio de tabulación cruzada con el programa estadístico *SPSS 20*.

Así mismo se realizó el cálculo de riesgo o la probabilidad de que un individuo desarrolle una de las enfermedades durante un periodo de tiempo específico, o lo que es igual a la incidencia de la enfermedad. Este cálculo se realizó utilizando la metodología actuarial Cutler-Ederer  $Riesgo_{(t_0,t)} = 1 - \prod_{j=t_0}^t (1 - IA_j)$ , para después modelar mapas de riesgo en el programa Arc Map10. Con los datos base, se centró en la evaluación y desarrollo de medidas de adaptación preventivas, es decir, medidas que el estado de Colima debería tomar en cuenta para prevenir los efectos de las variaciones climáticas, con especial énfasis en aquellas medidas que generen beneficios para la región aun cuando no se produjeran cambios climáticos.

### **Resultados**

A continuación se describirán los diferentes resultados obtenidos a lo largo de este estudio con base en la metodología planteada. Con fines ilustrativos sólo se exponen dos casos representativos, pero la información general puede ser consultada en la bibliografía.

Presentamos el primer caso para el municipio de Minatitlán en donde se puede apreciar claramente que los resultados de los cálculos de correlación se acercan a la mitad de los valores, siendo los más altos para los casos de Enfermedades diarreicas y dengue, Zica, Chicungunya.

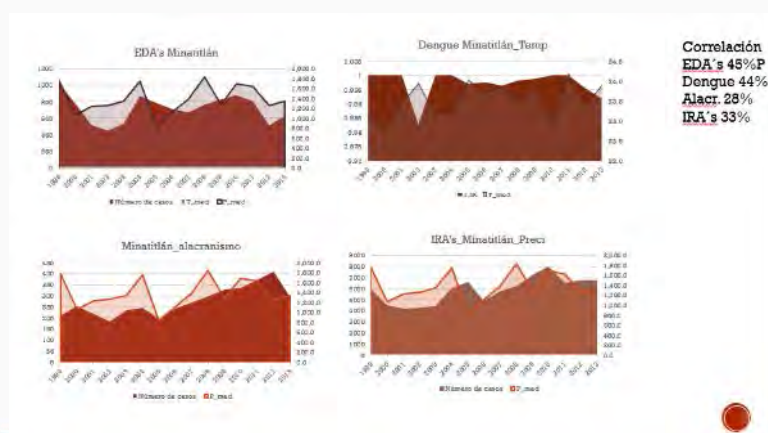


Fig 1. Correlación entre enfermedades epidemiológicas y características climáticas en Minatitlán

A continuación, podremos observar los resultados para el análisis de riesgo de Cuttler-Ederer.

Tabla 1. Análisis de enfermedades y clima para el municipio de Minatitlán

<i>FID3<sup>22</sup></i>	<i>EDA's_Mina</i>	<i>Dengue_Mina</i>	<i>Alacranismo_Mina</i>	<i>IRA's_Mina</i>
<i>Enfermedad</i>	Enfermedades Diarreicas Agudas	Fiebre-hemorragia por dengue	Intoxicación por picadura de alacrán	Infecciones Respiratorias Agudas
<i>Municipio</i>	<b>Minatitlán</b>			
<i>Año</i>	<b>1999-2013</b>			
<i>T_med</i>	23.51	23.51	23.51	23.51
<i>P_med</i>	1388.67	1388.67	1388.67	1388.67
<i>Pob_Total</i>	8174	8174	8174	8174
<i>Total_Caso</i>	10785	334	4100	850998
<i>Tasa_mil_h</i>	10.78	0.33	4.1	850.998
<i>TI</i>	1.34	0.04	0.511	6.14
<i>IA</i>	13.65	14.95	14.48	8.85
<i>IA_mil_Hab</i>	0.013	0.014	0.014	0.088
<i>Riesgo</i>	0.75	0.04	0.405	0.99
<i>Porcentaje</i>	<b>75.64%</b>	<b>4.05%</b>	<b>40.58%</b>	<b>99.96%</b>

Para el municipio de Minatitlán las tasas de picadura de alacrán aumentan hasta un 40% a comparación de otros municipios del estado, lo cual significa que casi 1 de cada 2 personas ha padecido alguna picadura en el municipio. Cabe destacar que el porcentaje de riesgo referido al dengue es bajo relativamente a comparación de los demás municipios y el referido a Enfermedades Diarreicas Agudas es alto.

<sup>22</sup> FID= Nombre de Identificación, T\_med= Temperatura media, P\_med= Precipitación media, Tasa\_mil\_h= Número de casos por cada mil habitantes, TI= Tasa de Incidencia, IA= Incidencia Acumulada, IA\_mil\_Hab= Incidencia Acumulada por cada mil habitantes, Porcentaje= Riesgo de adquirir la enfermedad en porcentaje



Otro de los casos representativos se trata del municipio de Armería, el cual presenta correlaciones de arriba del 55% para los casos de alacranismo y arriba del 30% para los casos de dengue, chicungunya y zica.

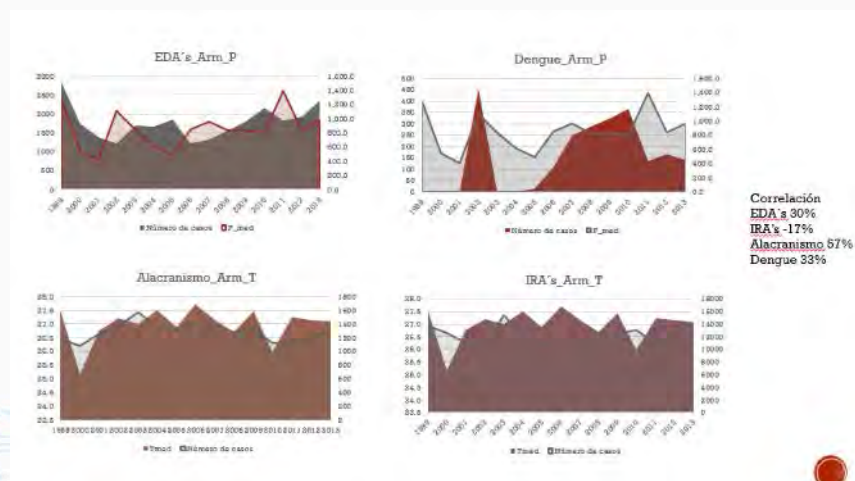


Fig 2. Correlación entre enfermedades epidemiológicas y características climáticas en Armería

A continuación, podremos observar los resultados para el análisis de riesgo de Cuttler-Ederer.

Tabla 4. Análisis de enfermedades y clima para el municipio de Armería.

FID	EDA's_Armería	D_Armería	Alacranismo_Armería	IRA's_Armería
Enfermedad	Enfermedades Diarreicas Agudas	Fiebre-hemorragia por dengue	Intoxicación por picadura de alacrán	Infecciones Respiratorias Agudas
Municipio	Armería			
Año	1999-2013			
T_med	26.96			
P_med	849.55			
Pob_Total	28695			
Total_Caso	26496	2244	19352	182902
Tasa_mil_h	26.49	2.244	19.352	182.902
TI	0.96	0.083	0.71	6.67
IA	14.03	14.91	14.289	8.32
IA_mil_Hab	0.014	0.0149	0.0142	0.0083
Riesgo	0.632	0.08	0.517	0.999
Porcentaje	63.20%	8.04%	51.74%	99.98%

### Cambios en la incidencia de enfermedades en el estado de Colima susceptibles al cambio climático.

Los municipios que presentan un porcentaje más alto de riesgo para contraer enfermedades infectocontagiosas en el estado, son los municipios de Minatitlán y Armería, éstos dos municipios están dentro de los estándares de alto grado de marginación y aunque no son los municipios con mayor número de habitantes, sus condiciones socio-

ambientales y su vulnerabilidad al impacto por cambios climáticos recientes los hacen ser de alto riesgo. Para estos municipios las autoridades deberán enfocar sus esfuerzos en prevención y mitigación de enfermedades tomando en cuenta la participación social. Un tercer municipio es Manzanillo seguido de Ixtlahuacán como podemos observar en la figura 3.

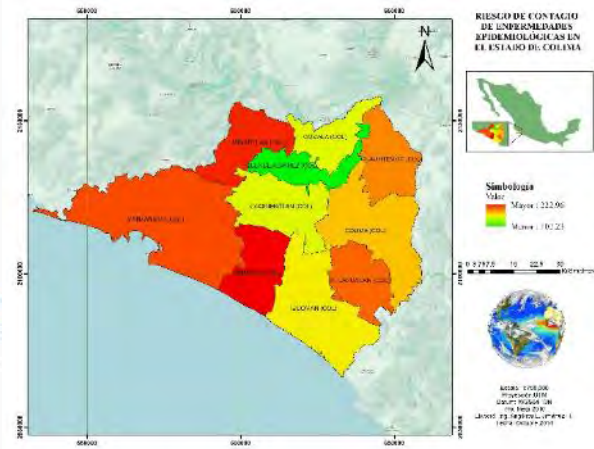


Fig. 3. Riesgo de contraer enfermedades infectocontagiosas en el estado de Colima.

### Valor obtenido con base en los indicadores

Derivado del análisis de diversos componentes para municipio afectado por los eventos en salud, población potencialmente expuesta e identificación de los factores geográficos, físicos, demográficos, sociales y poblacionales, se determinaron los siguientes valores en los indicadores establecidos.

Tabla 3. Tabla de indicadores

Enfermedades sensibles	Indicador	Resultado de medición	Tipo de Indicador
<b>Enfermedades transmitidas por vector</b>	Población en riesgo	Alto	De exposición
	Número de casos	Medio	De efecto
	Morbilidad/mortandad	Bajo	De efecto
	Control del vector	Medio	De acción
<b>Enfermedades diarreicas agudas, causadas por consumo de agua y alimentos contaminados</b>	Tasa de mortalidad durante eventos de clima extremo	Medio	De efecto
	Tasa de morbilidad	Alto	De efecto
<b>Infecciones respiratorias agudas</b>	Tasa de mortalidad por IRA's asociada a una mala calidad del aire	Alto	De efecto
	Morbilidad asociada a una mala calidad del aire	Alto	De efecto
<b>Eventos de clima extremo</b>	Morbilidad por olas de calor o frío	Alto	De efecto
	Número enfermos en eventos extraordinarios	Alto	De efecto
<b>De política pública (adaptación)</b>	Desarrollo e implementación de Programas de	Medio	De acción



	Adaptación al Cambio climático en el Sector Salud		
--	---	--	--

### Discusión.

Los cambios de temperatura y las estacionalidades a lo largo del año han propiciado de alguna manera el estar más vulnerables ante cambios significativos en los fenómenos que representan un riesgo para la sociedad. Como se puede observar en los resultados. Para hacer un análisis más a fondo de lo que sucede municipio por municipio en la figura 83 podemos observar que las enfermedades respiratorias son las que tienen mayor presencia en todos los municipios y básicamente la correlación con los datos de temperatura fue por arriba del 30%.

Para el caso de las Enfermedades Diarreicas Agudas el mayor porcentaje de riesgo está dirigido hacia Colima, Manzanillo y Minatitlán y es la segunda enfermedad más recurrente en el Estado. La OMS 2013, menciona que estas enfermedades están meramente relacionadas con la falta de higiene de algunas entidades y en su caso la extrema pobreza. Colima al ser un municipio receptor en términos de capacidad hospitalaria, podría esto dar respuesta a su alta incidencia en EDA's, sin embargo, municipios como Manzanillo y Minatitlán están caracterizados por su grado de marginación alto de algunas de sus localidades, aunado a esto Manzanillo por ser un puerto está más latente a condiciones insalubres por su contacto directo a espacios lacustres y marítimos de calidad media.

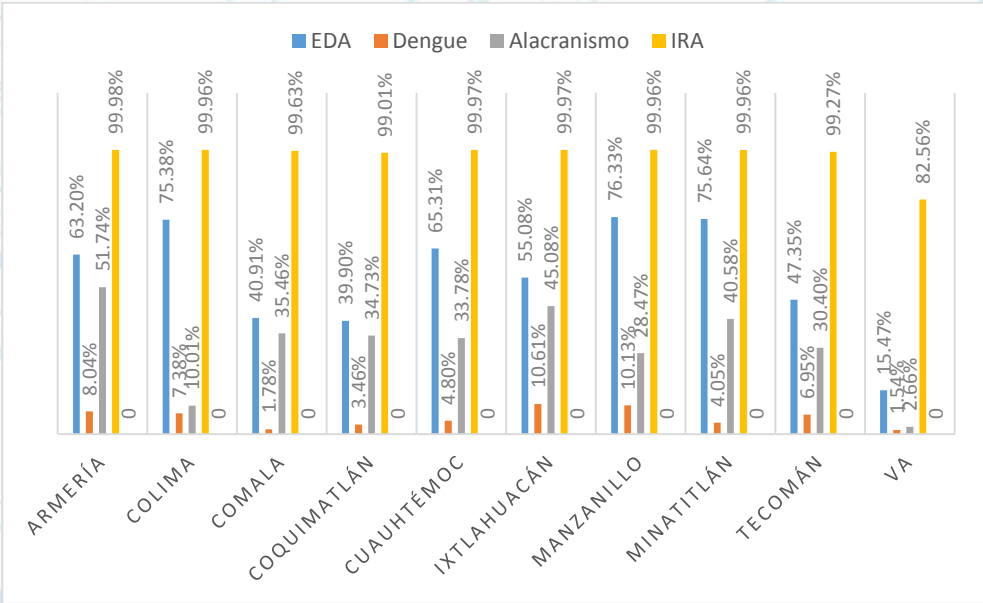


Fig. 4. Riesgo de contraer alguna enfermedad en el Estado de Colima.

Para el caso del alacranismo el cual constituye un problema de salud pública a nivel mundial, sobre todo en áreas tropicales y subtropicales. No es de rareza encontrar altos porcentajes de riesgo en el Estado al cumplir con todas las características que dicha especie necesita para sobrevivir. La OMS identifica a Colima como uno de los 12 municipios de alerta por picadura de alacrán, este incremento de picaduras tiene explicación debido a que los alacranes viven en las cercanías de las viviendas, dada la tendencia actual de nuestras poblaciones de crecer e invadir el nicho ecológico de esta especie, englobándolo dentro del hábitat humano, esto ha aumentado el riesgo a alguna picadura. Aunado a esto, el aumento de los procesos de estaciones con temperaturas altas y secas facilita la reproducción de la especie.

Los municipios que presentan el mayor riesgo en el estado son Armería, Ixtlahuacán y Tecomán, esto cumple con los patrones de distribución de la especie en ambientes tropicales con vegetación abundante.

A su vez, en el análisis correspondiente a la precipitación y los casos de alacranismo, podemos observar que el número de incidencias disminuye cuando se trata de la estación de lluvias, al contrario de lo que sucede en temporada de sequías, lo cual podría enfatizar los esfuerzos de control o comunicación para la prevención de las picaduras de alacranes en estas temporadas.

Otra enfermedad que dio pie a un análisis más minucioso fue el dengue en el Estado, debido a que esta enfermedad se ha comprobado que se detona por procesos de cambio climático. Si bien, el cambio climático no lo explica todo, también los procesos de prevención por parte de las instituciones encargadas de esta área no han dado los resultados adecuados, ya que como podemos observar a lo largo de los años y en todos los municipios el dengue está presente y no ha habido un control formal ante este tema. En el análisis de políticas de prevención y mitigación ante esta enfermedad sólo podemos observar las campañas de descacharrización y fumigación. Los múltiples estudios expuestos en el panel de Salud del Congreso de Cambio Climático confirman que mayormente los jóvenes son los que se enferman de dengue y no precisamente en sus casas, si no de camino a realizar sus actividades cotidianas, esto comprueba que dentro del hogar el dengue no ha podido proliferar si no que nos encontramos ante un proceso externo que proviene de encharcamientos en las calles o baldíos, y las personas, en este caso los jóvenes son quienes por sus actividades están más propensos y son quienes se contagian de dicha enfermedad.

Entre otros análisis en lo local el verano de 2009 correspondió a condiciones El Niño, con anomalías positivas en la temperatura de superficie del mar que se extendieron hasta el Pacífico mexicano. Esta condición favoreció temperatura atmosférica anómalamente alta cerca de superficie y mayor humedad en los estados del occidente de México, particularmente en Colima y Jalisco. Las condiciones de lluvia en esta zona del país llevaron a condiciones de humedad del suelo acumulada que en combinación con altos niveles de humedad atmosférica parece haber favorecido la existencia de encharcamientos prolongados por suficiente tiempo como para permitir el ciclo reproductivo del mosquito *Aedes Aegypti*. Será necesario además, trabajar para que la población perciba el riesgo de dengue de manera adecuada, considerando el uso de repelentes y otros tipos de protección principalmente cuando se presenten condiciones climáticas como las aquí descritas, es decir, altos valores en humedad específica,



humedad del suelo y temperatura, más allá de las fuertes y frecuentes precipitaciones. Así, la información climática se debe incorporar como elemento de gestión de riesgo de dengue.

Los municipios que presentan el mayor porcentaje de riesgo de contraer dengue son Manzanillo, Ixtlahuacán y Colima.

En términos generales para el estado de Colima, las políticas de prevención y mitigación, tendrán que estar encaminadas al conocimiento previo de cada una de las especies que contribuye como patógeno y causa alguna enfermedad de importancia, como también que se tenga en cuenta el grado de riesgo que hay en los municipios para encaminar las acciones adecuadas en los lugares precisos.

### **Conclusiones.**

- 1.- La tendencia global para la humanidad es la afección intensa por las enfermedades epidemiológicas, incluso para algunos autores, esto podría ser la única forma de extinción de la especie humana.
- 2.- Acciones de adaptación:
  - i) Cultura de la autoprotección (e.g, valor de los repelentes) y conocimiento del riesgo.
  - ii) Uso de información climática para definir estacionalmente las campañas de apoyo a la población y atención preventiva.
  - iii) Generación de capacidades en centros médicos u opciones de atención inmediata ante síntomas.
  - iv) Diseños de ciudad para control de la Isla de Calor.
- 3.- Pensar a nivel cuenca y las afecciones que estamos ocasionando a los depredadores naturales y cómo el cambiar los ecosistemas y no migrar hacia sistemas regenerativos está ocasionando que las cadenas tróficas colapsen.
- 4.- La Secretaría de Salud tendrá que ser una institución colaborativa en términos de flujo de datos y evitar el sesgo de los mismos.
- 5.- La academia y la Secretaría de Salud tendrán que colaborar intensamente para abordar estudios profundos de los procesos causantes y pruebas de diferentes técnicas para mitigar el impacto de las enfermedades epidemiológicas ante un escenario de Cambio Climático.

### **REFERENCIAS**

- Aguilar, A. 2000. *Los asentamientos humanos y el cambio climático en México*. Resultados de los estudios de vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program. México.
- Briggs D. 2003. *“Indicators to Improve Children’s Environmental Health”*. World Health Organization /Department of Epidemiology and Public Health Imperial College London. Pp. 1-17.
- Berberiana G. y Rosanova M.A. *Impact of climate change on infectious diseases*. Arch Argent Pediatr 2012; 110(1):39-45 / **39**. <http://dx.doi.org/10.5546/aap.2012.39>

- Canziani O, Diaz S, Calvo E, Campos M, Carcavallo R, Cerri CC, Gay-García C. 2000. ***Impactos regionales del cambio climático: Evaluación de la vulnerabilidad en América Latina***. Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático.
- Cifuentes, L. 2001. ***Hidden health benefits of Greenhouse mitigation***. Science vol. 293. EUA. pp 1257-1259.
- Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (2012). ***Creación de indicadores para la medición de riesgos sanitarios***. COFEPRIS.
- Corvalán, C.; Briggs, D.; Kjellström, T. 1996. ***“Development of environmental health indicators. In: Linkage Methods for Environment and Health Analysis: General Guidelines”***; Briggs, D., Corvalán, C., Nurminen, M., Eds.; UNEP, USEPA, WHO: Geneva, Switzerland, 1996; pp. 19-53.
- Curriero F, Patz JA, Rose JB, Lele S. ***The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948-1994***. American Journal of Public Health 2001; 91(8):1194-1199
- INEGI, 2013, ***“Integración de percepción remota para el análisis y monitoreo espacio-temporal de la vulnerabilidad del paisaje socio-ecológico ante el cambio ambiental global”***. [www.inegi.org.mx/inegi/conacyt/default.aspx?\\_file=/inegi/.../doc/](http://www.inegi.org.mx/inegi/conacyt/default.aspx?_file=/inegi/.../doc/)
- Instituto Nacional de Ecología, ***“Programas Estatales de Acción ante el cambio climático.”*** INE. Accessed March 14, 2013. <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/peacc/>.
- Instituto Nacional de Salud Pública. ***“Salud Ambiental”*** Accessed December 2, 2013. <http://www.insp.mx/lineas-de-investigacion/saludambiental.html>.
- IPCC, 2001. ***Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change***. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC. ***Synthesis Report, Third Assessment Report***. Cambridge University Press, 2001.
- King MG, Kirchman D, Salyers AA, Schlesinger W, Tiedje MJ. 2001. ***Global environmental change. Microbial contributions, Microbial solutions***. American Society of Microbiology.
- Kjellström, T. & Corvalán, C. 1995. ***“Framework for the development of environmental health indicators”***. World Health Stat. Q. 48: 144-154.
- Kovats RS, Charron D, Cowden J, D’Souza RM, Ebi KL, Edwards SJ, Gauci C, Gerner-Smidt P, Hajat S, Hales S, Hernandez Pezzi G, Kriz B, Kutsar K, McKeown P, Mellou K, Menne B, O’Brien S, van Pelt W, Schmid H. ***Climate variability and Campylobacter infections: an international study***. International Journal of Biometeorology 2005; 49(4):207-214
- Liang YS, Linthicum KJ, Gaydos JC. 2002. ***Climate change and the monitoring of vector-borne disease***. JAMA; 287: 2286.
- Lipp EK, Huq A, Colwell RR. 2002. ***Effects of global climate on infectious disease: the cholera model***. Clin Microbiol Rev; 15: 757-770.



- Meléndez H. E., Ramírez, P. M., Sánchez D. B., Cravioto A., 2008, *Cambio climático y sus consecuencias en las enfermedades infecciosas*. Rev Fac Med UNAM Vol. 51 No. 5 Septiembre-Octubre.
- Mendoza O., 2013. *Informe preliminar del programa estatal de acciones contra cambio climático*. Universidad de Colima.
- Organización Mundial de la Salud. “*Cambio climático y salud humana*” Accessed March 18, 2013. <http://www.who.int/globalchange/climate/es/>.
- Organización Mundial de la Salud. “*Cambio climático y salud humana - Riesgos y respuestas.*” 2003 1, no. 30 (2003): 85.
- Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS). 2000. “*Pan American World Health Organization PAHO / WHO Report of the First Binational Workshop on Environmental Health Indicators*”. Ciudad Juárez, 6-7 de junio del 2000.
- Riojas Rodríguez H., Hurtado M., Litai G., Rothenberg S., Santos R., Texcalac J. 2011. *Estudio piloto sobre escenarios de riesgos en salud asociados al cambio climático en regiones seleccionadas de México*. Instituto Nacional de Salud Pública.
- Riojas Rodríguez H., M.C. Magali Hurtado Díaz, M.C. Grea L. Moreno Banda, M.C. Alhelí Brito Hernández, Geog. Aldo Castañeda. Antr. Silvia Chuc, M.C. Michelle Romero Franco, M.C José Luis Texcalac, 2011. *La investigación sobre cambio climático y salud pública en México, situación actual y perspectivas futuras*. México D.F. Dirección de Salud Ambiental, Instituto Nacional de Salud Pública.
- Staropoli FJ. 2002. *The public health implications of global warming*. JAMA; 287: 2282.
- Padilla E., Cuevas R., Ibarra G., 2006. Riqueza y biogeografía de la flora arbórea del estado de Colima, México. Revista mexicana de biodiversidad. V. 77, n.2.

## **ID-023: LOS CONTEXTOS HIDROLÓGICO Y SOCIAL ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL NORTE DE MÉXICO: LA CUENCA DEL RÍO TIJUANA**

Juan Manuel Rodríguez Esteves  
El Colegio de la Frontera Norte, email: [jesteves@colef.mx](mailto:jesteves@colef.mx)

### **RESUMEN**

Las nuevas condiciones hidrometeorológicas mundiales asociadas al cambio climático representan desafíos para la administración de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas del país. Un caso especial lo representa el norte de México, caracterizado por un régimen pluvial semidesértico donde el recurso agua es cada vez más escaso debido a las pocas precipitaciones y al aumento de la población y actividades productivas. La Cuenca del Río Tijuana ubicada en el extremo noroeste de México, es una cuenca compartida por los estados de California, E.U.A. y Baja California, México, por lo que está sujeta a fuertes presiones ambientales, económicas, sociales y políticas entre los distintos grupos de usuarios que comparten el recurso. El objetivo del presente trabajo es analizar el contexto hidrológico, urbano y social de los principales centros de población en la parte mexicana de la cuenca, enmarcados en un contexto de incertidumbre asociado a las actuales condiciones de cambio climático. La investigación fue elaborada con base en la consulta de documentos oficiales federales y estatales, bases de datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), así como entrevistas con actores clave relacionados con el manejo del agua en la cuenca del río Tijuana. El material cartográfico fue preparado por la Unidad de Servicios Estadísticos y Geomática de El Colef.

Palabras clave: régimen hidrológico, crecimiento urbano, cambio climático, vulnerabilidad, cuenca del río Tijuana.

### **1 INTRODUCCIÓN**

La cuenca hidrográfica es una porción de la superficie terrestre donde los escurrimientos provenientes de las lluvias o deshielos siguen un padrón ordenado llamado red de drenaje, compuesto de arroyos y ríos que conducen el agua desde las partes más altas del terreno o parteaguas hacia las zonas más bajas, representadas por el océano, un lago u otra corriente fluvial. Una cuenca exorreica es aquella que conduce las aguas al mar, mientras que una cuenca endorreica no tiene salida al mar, conduciendo su descarga a un lago o acuífero interno.

La Cuenca del Río Tijuana (CRT) posee una superficie de 3,241 km<sup>2</sup> y un escurrimiento natural medio superficial de 100 Hm<sup>3</sup>/año (SEMARNAT, 2018). Una de las principales características de la cuenca es su carácter binacional, ya que el 73 % de su superficie se encuentra en Baja California, México, y el 27 % en el California, Estados Unidos. La región en la que se ubica corresponde al clima seco-templado del noroeste de México, donde la precipitación media anual no rebasa los 500 mm (INEGI, 2016). La escasez de lluvia, el relieve y la temperatura inciden sobre las comunidades vegetales permitiendo el desarrollo de matorral costero, chaparral en la mayor parte de la cuenca (56 %), matorral de juniperus y pequeñas áreas de bosque de pino Jeffrey en el lado estadounidense (SDSU-El Colef, 2005).

El estado de Baja California es vulnerable a los efectos del cambio climático, ya que los escenarios coinciden en que se registrará un aumento en la temperatura y una reducción del 15% de la precipitación pluvial anual en los próximos 20 años (SPA, 2012). Esta reducción reviste gran importancia ya que se registraría en un contexto de alta variabilidad, puesto que se podrían registrar años con sequía prolongada pero también otros años con lluvias intensas, lo que afectaría los escenarios de riesgo futuros, especialmente en zonas urbanas.

En la presente investigación se hace un diagnóstico del régimen hidrológico, el crecimiento poblacional en los principales centros urbanos y los instrumentos de política pública orientados a hacer frente a los efectos del cambio climático. Los resultados preliminares indican que, a pesar de estar ubicados en una región semiseca, algunos planes para aumentar la resiliencia ante el cambio climático, así como la colaboración binacional entre



México y Estados Unidos podrían conformar estrategias que permitan el uso racional de los recursos hídricos y el saneamiento para enfrentar un escenario de escasez de agua en toda la cuenca y en particular en los principales centros urbanos que son Tijuana y Tecate, B.C., así como San Diego, CA..

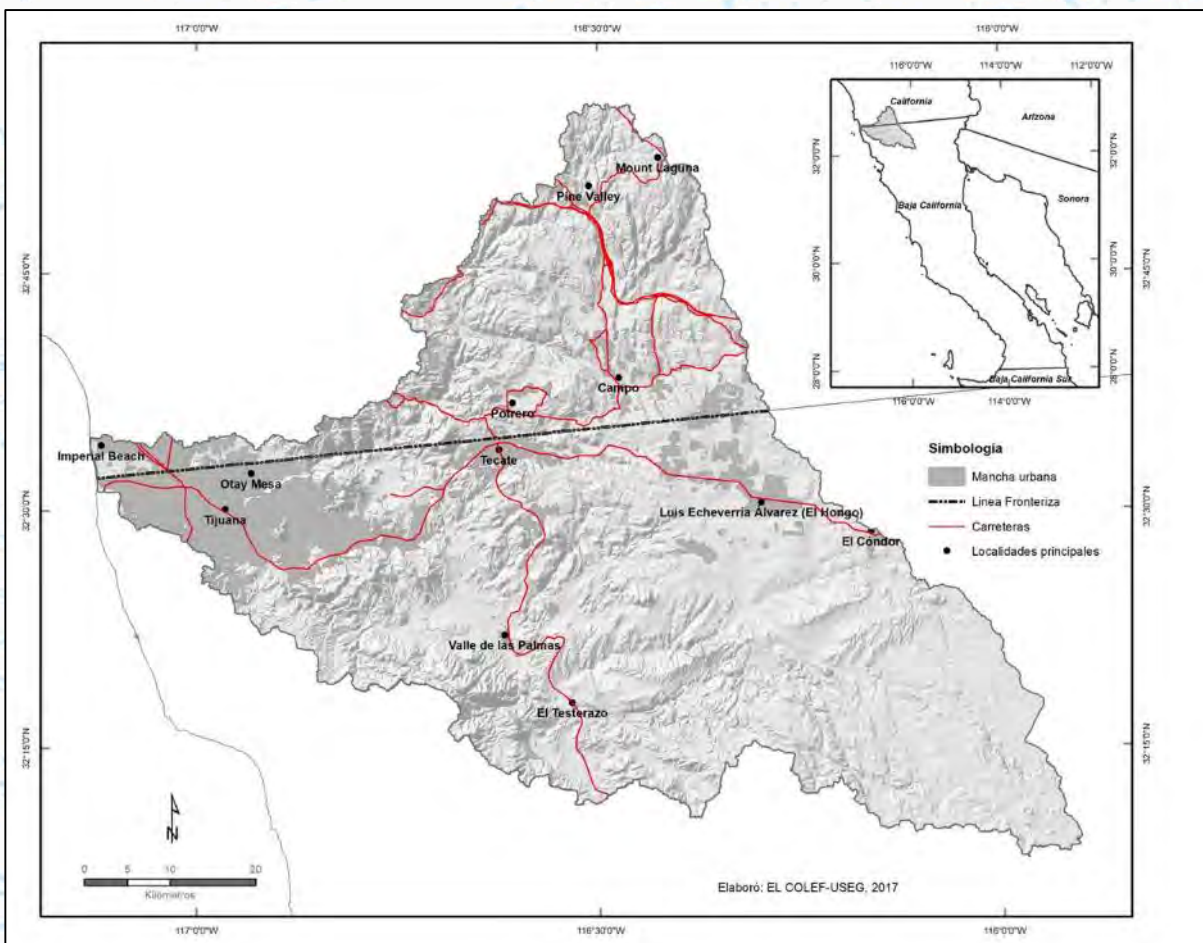
## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

La presente sección fue elaborada con base en la consulta de documentos oficiales federales y estatales, bases de datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), así como entrevistas con actores clave relacionados con el manejo del agua en la cuenca del río Tijuana. El material cartográfico fue preparado por la Unidad de Servicios Estadísticos y Geomática de El Colef.

### El contexto hidrológico

La CRT es un espacio compartido por dos países, lo que le confiere un carácter binacional al estar sujeta a dos modelos de gestión de sus recursos naturales, y en particular los hídricos (ver Mapa 1).

**Mapa 1. Ubicación de la Cuenca del Río Tijuana**

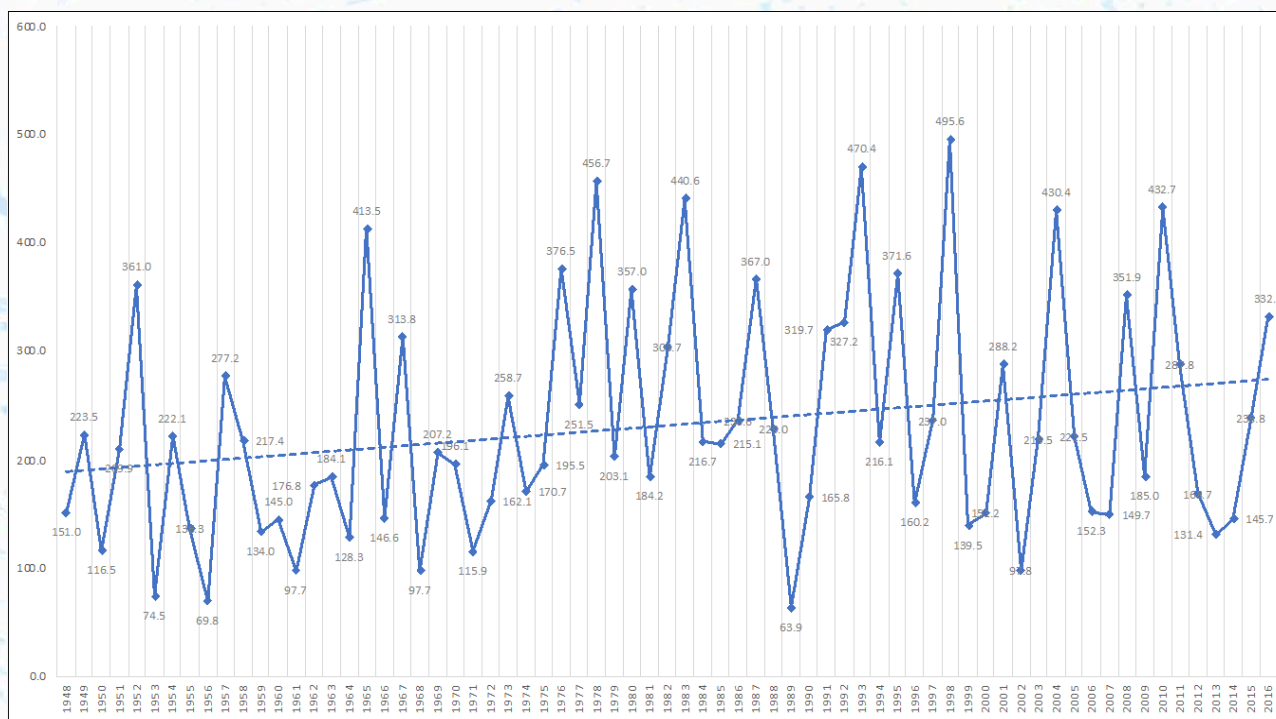


Fuente: El Colegio de la Frontera Norte, Unidad de Servicios Estadísticos y Geomática, 2017. Tomado de Diagnóstico Socioambiental de la Cuenca del Río Tijuana, El Colegio de la Frontera Norte-Fundación Río Arronte, marzo 2018.

El régimen de precipitaciones corresponde al tipo mediterráneo, ya que el 70% de la lluvia se registra en temporada de invierno, las primeras lluvias se registran en el mes de noviembre y concluyen en marzo. En lo que corresponde a la parte mexicana, se cuenta con un promedio de 232 mm de lluvia promedio anual (periodo 1948-2016), lo que determina, entre otros factores, que la zona sea clasificada como una región semidesértica. A pesar de la poca precipitación anual, se han registrado años más húmedos que otros (ver Gráfica 1).

Con base en la información pluvial de la estación climatológica Presa Rodríguez, ubicada en el extremo sureste de la ciudad de Tijuana y a una altitud de 137 msnm, se ha identificado que los años 1998, 1993 y 1978 han sido los más lluviosos para el periodo 1948-2016, con valores de 495, 470 y 456 mm de precipitación anual acumulada. Los dos primeros años estuvieron asociados a condiciones del fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (calentamiento de las aguas del Océano Pacífico Ecuatorial), pero es difícil establecer que existe una relación directa entre años de máximas lluvias anuales durante años Niño con respecto a años No Niño, debido a la alta variabilidad climática de la región. Un elemento a destacar es que los registros de lluvia anual acumulada presentan una tendencia positiva (línea punteada), misma tendencia que se presenta en la estación La Puerta, Tecate (480 msnm) con un promedio de 347 mm de precipitación anual acumulada (durante el periodo 1949-2016), pero con una tendencia negativa en la estación El Hongo, Tecate, (960 msnm) con 327 mm, aunque esta estación solo cuenta con registros mensuales para el periodo 1979-2016.

**Gráfica 1. Precipitación anual acumulada, Presa Rodríguez, Tijuana, BC (1948-2016)**



Fuente: elaboración propia con datos de Conagua, 2017.

Las lluvias son la principal fuente de recarga de los acuíferos en una cuenca hidrológica. En regiones semidesérticas la lluvia es un recurso altamente valorado por su función ambiental y como soporte de las actividades productivas en los asentamientos humanos (sector agrícola, industrial y urbano), por lo que la disponibilidad de agua y su administración son estratégicas para el desarrollo de la región. En la CRT existen tres acuíferos sobre los cuales se asienta más del 90% de la población urbana, los cuales aportan agua para actividades agrícolas, industriales y, en menor medida, a los asentamientos urbanos, como se verá más adelante. El Cuadro 1 muestra los principales valores de los acuíferos en la CRT.



**Cuadro 1. Datos de los principales acuíferos de la Cuenca del Río Tijuana**

<b>Acuífero</b>	<b>Recarga media anual (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Volumen concesionado (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Disponibilidad media anual (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Déficit (m<sup>3</sup>/año)</b>
Tijuana	26.6	14'465,580	12'134,420	0.000
Tecate	10.1	11'792,867	0.000000	-1'692,867
Las Palmas	10.5	9'347,561	0.000000	-1'847,561
Totales	47.2	35'606,008	12'134,420	-3'540,428

Nota: para el caso de Valle de las Palmas existe una descarga natural comprometida de 3'000,000 m<sup>3</sup>/año.

Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA, 2015, 2015b y 2015c.

Como lo indica el Cuadro 1 el acuífero Tijuana es el de mayor capacidad, condición que se explica en parte por estar próximo a la costa del Océano Pacífico (desembocadura) y captar las aguas de una gran parte de la red de drenaje de la cuenca. Otra característica es que gran parte de la ciudad de Tijuana se asienta sobre este acuífero, con lo que limita su capacidad de recarga en temporada de lluvias. A pesar de ello, no presenta déficit hídrico al asociar el volumen concesionado y la disponibilidad media anual. Por su parte, los otros dos acuíferos presentan déficit al ser más la explotación de agua que la recarga. Esta situación se explica porque en estos dos acuíferos se desarrolla gran parte de la agricultura en la parte mexicana. Con base en estos datos, la CRT registra un déficit de 3'540,428 m<sup>3</sup>/año asociada a sus acuíferos.

### **Crecimiento poblacional-urbano en la cuenca del río Tijuana**

Por ubicarse en la frontera norte de México, la CRT recibe importantes flujos migratorios del interior del país y, recientemente, de otros países de Centroamérica. Debido a que casi el 75% de la superficie de la cuenca se encuentra en territorio mexicano, también concentra un mayor número de población en las localidades urbanas de Tijuana, Tecate, Valle de las Palmas y El Hongo. El Cuadro 2 presenta el total de población distribuida por estado y municipio/condado a ambos lados de la línea divisoria internacional. Con base en esta información, el 96% de la población de la cuenca se asentó en el lado mexicano durante el 2010.

**Cuadro 2. Población total de la Cuenca del Río Tijuana (2010)**

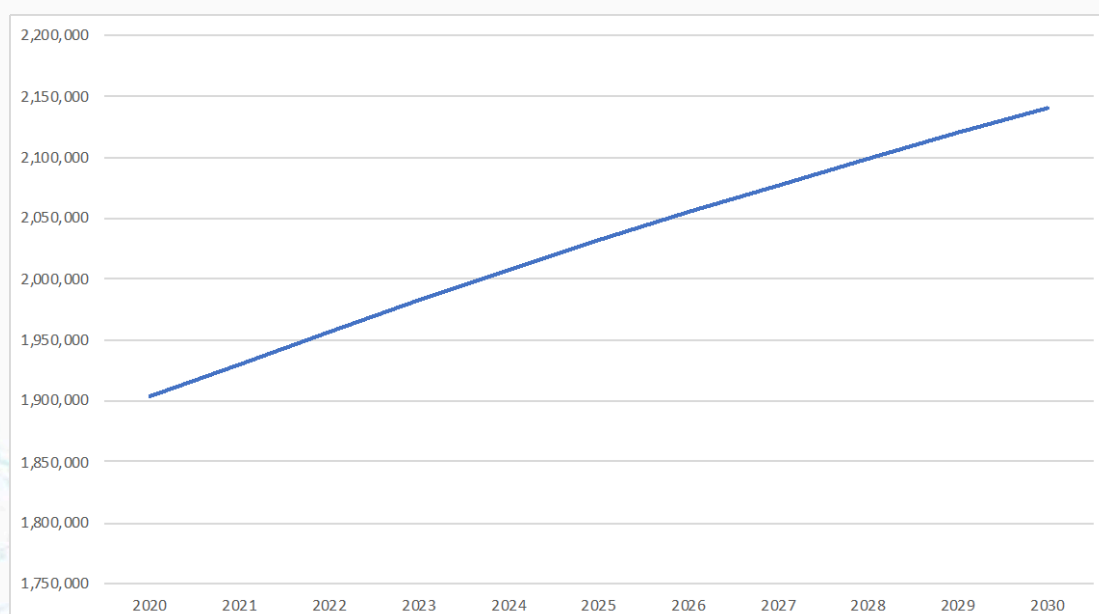
<b>Estado</b>	<b>Municipio</b>	<b>Población urbana</b>	<b>Población rural</b>	<b>Total</b>
Baja California	Tijuana	1'439,626	17,233	1'456,859
	Tecate	80,077	15,195	95,272
	Ensenada	0	29	29
Subtotal		1'519,703	32,457	1'552,160
California	San Diego *	57,016	2,430	59,446
Subtotal		57,016	2,430	59,446
Total		1'576,719	34,887	1'611,606

\* Solo incluye las comunidades de Pine Valley, Campo, Mount Laguna, Potrero, Tecate, y las ciudades de Imperial Beach, San Ysidro y Campo.

Fuente: elaboración propia con datos de Censos de Población, 2010, y *Census Tract*, 2010.

Para el caso de la población mexicana en la CRT, el crecimiento poblacional para los próximos años indica que se conservarán las tendencias de crecimiento entre 2020 y 2030, como lo muestra la Gráfica 2. Esta tendencia positiva representa que para el año 2030 la población mexicana alcanzaría 2'140,363 habitantes, con lo que se estaría presionando más a los recursos hídricos existentes.

**Gráfica 2. Proyecciones de población municipal en la Cuenca del Río Tijuana**



Fuente: elaboración propia con datos del Consejo Nacional de Población (Conapo), 2015, recuperado de <https://www.gob.mx/conapo/es/documentos/proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico-2015-2030?state=published>

El crecimiento poblacional impacta en mayor medida a los centros urbanos de la cuenca. Para 1990 el área urbana en el lado norteamericano cubrió 26 km<sup>2</sup>, llegando a 54 km<sup>2</sup> en 2015, representando el 1.2% de la cuenca. Por lo que corresponde al lado mexicano, en 1990 las zonas urbanas llegaron a 190 km<sup>2</sup>, y en 2015 cubrieron 315 km<sup>2</sup>, llegando a un total a ambos lados de la frontera de 370 km<sup>2</sup> para este último año, es decir, ocuparon el 8.3% de toda la cuenca.

En cuanto a su proporción anual, durante la década de 2010 se registró un promedio de crecimiento en la zona urbana de 1.1 km<sup>2</sup> en el lado norteamericano, mientras que en Tijuana se registró un promedio de 3.9 km<sup>2</sup>, proporción superior a las zonas urbanas fuera de la CRT. Finalmente, para el caso de Tecate, el promedio llegó a 4 km<sup>2</sup> para la misma década (ver Cuadro 3).

**Cuadro 3. Crecimiento del área urbana dentro de la cuenca del río Tijuana**

Ciudad	Zona	Área (km <sup>2</sup> )					Porcentaje de la cuenca		Km <sup>2</sup> promedio añadidos por año		
		1990	2000	2010	2015	% 2015	1990	2015	1990's	2000's	2010's
San Diego	Urbana	26.3	27.9	49.0	54.4	14.7	0.6	1.2	0.2	2.1	1.1
Tijuana	Urbana	178.0	215.2	244.4	263.8	71.5	4.0	5.9	3.7	2.9	3.9
	Urbana fuera de la cuenca	12.3	20.1	27.5	42.5	11.5	0.3	1.0	0,8	0.7	3.0
Tecate	Urbanas (*)	12.7	17.7	31.0	51.0	13.8	0.3	1.1	0.5	1.3	4.0
Total en cuenca		217.0	260.9	324.5	369.1	100	4.9	8.3	4.4	6.4	8.9

(\*) Incluye la ciudad de Tecate y el resto de localidades del municipio de Tecate.

Fuente: INEGI, Censos de Población y Vivienda: varios años; Ojeda-Revah y Espejel-Carbajal 2008, tomado de Alegría, Tito (2017). Desarrollo urbano y cambios de uso del suelo. En: *Diagnóstico socioambiental de la cuenca del río Tijuana*, Programa para el Manejo Integral del Agua en la Cuenca del Río Tijuana, El Colegio de la Frontera Norte, Fundación Río Arronte, pp. 146-159.



El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) consideró algunos indicadores sobre salud, educación, vivienda, empleo, ingreso y población, para desarrollar el índice de vulnerabilidad social a nivel municipal en el país. Con base en estos resultados la CRT, en el lado mexicano, posee un índice de vulnerabilidad social muy bajo, lo que en teoría representa mejores condiciones sociales para enfrentar y recuperarse ante los eventos hidrometeorológicos extremos (lluvias intensas, sequías, etc.). Por lo que respecta a la vulnerabilidad hídrica global para aguas superficiales, la cual incluye la sensibilidad (población al 2030, PIB y agricultura), exposición (sequías y brecha-oferta hídrica) y capacidad de adaptación (sobrexplotación de acuíferos); la CRT fue considerada como muy baja a baja vulnerabilidad (IMTA, 2015).

Los escenarios ante cambio climático respecto a la precipitación y temperaturas, indican que la CRT podrá enfrentar una reducción entre el 3 y 9% de lluvia durante el periodo primavera-verano y de 10 y 25% durante el otoño-invierno (2015-2038). Estas variaciones son significativas si se considera que la CRT posee un clima mediterráneo, donde las lluvias se registran durante este último periodo. Respecto a las temperaturas máximas, las variaciones van de 1.0 a 1.2°C y de 1.2 a 1.4 para los periodos primavera-verano y otoño-invierno respectivamente (2015-2039). Sin embargo, para el periodo 2075-2099 las variaciones son más marcadas debido a que se considera más años para el cálculo de los escenarios, con lo que aumenta la incertidumbre (ver Cuadro 4).

**Cuadro 4. Escenarios de cambio climático en la Cuenca del Río Tijuana**

Variable	2015-2039		2075-2099	
	Primavera-verano	Otoño-invierno	Primavera-verano	Otoño-invierno
Proyección del porcentaje de cambio de precipitación (%)	-3 a -9	-10 a -25	-6 a -9	-10 a -15
Proyección del porcentaje de cambio de la temperatura máxima (°C)	1.0 a 1.2	1.2 a 1.4	3.0 a 3.8	2.6 a 4.2
Proyección del porcentaje de cambio de la temperatura mínima (°C)	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4	2.6 a 4.2	3.0 a 5.0

Fuente: elaboración propia con datos de IMTA, 2015.

### 3 RESULTADOS

#### Respuesta a escenarios de cambio climático

El índice de vulnerabilidad social para enfrentar los efectos del cambio climático, no incluye información local debido a que no está registrada en fuentes estadísticas nacionales. Por ello, a nivel local existen instrumentos para enfrentar los efectos del cambio climático.

El Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California (SPA, 2012) contiene una serie de recomendaciones ante los retos que debe enfrentar la sociedad ante los cambios ambientales que conlleva el cambio climático en el estado. El instrumento incluye el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, un análisis de escenarios climáticos regionales, evaluación de la vulnerabilidad e impactos del cambio climático por sectores como recursos hídricos, biodiversidad, ecosistema marino, energía, transporte, asentamientos humanos, agricultura y ganadería, turismo, salud y economía, además de incluir acciones de mitigación, adaptación y elementos de política pública transversal. El Programa está orientado a ser aplicado en todo el estado, por lo que no contiene medidas específicas para la CRT, sin embargo, presenta diagnósticos sobre los recursos hídricos en general, escenarios regionales y propuestas de mitigación y adaptación, por lo que debe influir en la toma de decisiones que incidan en la gestión futura.

A un nivel más local, se encuentra el Programa Sectorial de Resiliencia Urbana para el Municipio de Tijuana, B.C. 2019-2024 (SEDATU, IMPLAN, 2018). Este instrumento contiene 11 ejes de acción que son: 1) Organización para la resiliencia frente a los desastres; 2) Identificación, comprensión y utilización de escenarios de riesgo; 3) Capacidad financiera para la resiliencia; 4) Diseño y desarrollo urbano; 5) Ambiental; 6) Capacidad institucional para la resiliencia; 7) Capacidad social para la resiliencia; 8) Infraestructura; 9) Respuesta adecuada y efectiva; 10) Reconstrucción y recuperación y 11) Transversal. Estos ejes están organizados para reducir y mitigar los efectos de los fenómenos perturbadores en los asentamientos humanos relacionados con los objetivos del Marco de Sendai, situación socioeconómica del municipio, cambio climático, perspectiva de género y diversidad cultural en la ciudad. Si bien es cierto que este programa está orientado a todos los fenómenos perturbadores, los de naturaleza hidrometeorológica representan uno de los principales desafíos en la CRT, particularmente para las ciudades de Tijuana y Tecate.

## **Colaboración binacional**

El manejo de los recursos hídricos en la CRT es complejo, ya que están involucrados dos países con modelos de gestión diferentes, además de la presencia de diversos tipos de usuarios (urbano, agrícola, ambiental, etc.). La condición de cuenca binacional, le confiere a la CRT una ventaja, la colaboración internacional, ejemplo de ello son los diversos acuerdos a los que han llegado ambos países a través de las secciones mexicana y estadounidense de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), dependientes de la Secretaría de Relaciones Exteriores y del Departamento de Estado, respectivamente.

Las resoluciones entre ambos países referentes al uso de los recursos hídricos en la CRT, están contenidos desde el Acta 182 denominada “Aprobación del Informe sobre la Conferencia Mixta de Ingeniería, acerca de estudios, investigaciones y procedimientos para proyectar las obras que se construirán de acuerdo con el Tratado de aguas de 1944 (firmada el 23/09/1946)” hasta los del Acta 320 “Marco general para la cooperación binacional en los asuntos transfronterizos de la cuenca del Río Tijuana” (firmada el 05/10/2015).<sup>23</sup> Estas dos Actas resumen los mecanismos de colaboración entre los gobiernos de ambos países, grupos de la sociedad civil a ambos lados de la frontera además de expertos y otros actores. Con esta visión, se pretende que el manejo del agua dentro de la cuenca pueda mantener las condiciones de cantidad, calidad, saneamiento, etc. para el uso de ambos países.

Por otro lado, la problemática de abastecimiento de agua en la CRT para usos urbanos va más allá de las propias capacidades de almacenamiento de la cuenca, tanto del lado norteamericano como mexicano. Ante los problemas para el abastecimiento de agua para los habitantes de Tijuana, desde la década de 1960 se firmaron varias resoluciones para solventar esta necesidad. El 13/06/1972 se firmó el Acta 240 denominada “Entregas de emergencia del río Colorado para uso en Tijuana”, entre las principales resoluciones se encuentra “que E.U. proveería durante un periodo no mayor a cinco años entregas de emergencia a México de una parte de las aguas del río Colorado que le asigna el Art. 10(a) del Tratado de Aguas de 1944 en un punto de la línea divisoria internacional cercano al aeropuerto de Tijuana”. Con estos acuerdos se pretendía atender el problema de la sequía que estaba reduciendo las fuentes existentes para atender la demanda de cerca de 400,000 habitantes.

Con un enfoque binacional y multistitucional, se elaboró el documento “Una visión binacional para la cuenca del río Tijuana (2005)”. Este documento contiene datos básicos y tendencias sobre el manejo de los recursos naturales en la cuenca, con especial énfasis en los recursos hídricos, pero mantiene un enfoque de sustentabilidad ambiental, social y económica para el disfrute de las generaciones futuras. A pesar de que no hace referencia a los escenarios de cambio climático para la región, sí aborda los criterios para la conservación de los recursos, manejo sustentable del agua y la cooperación entre ambos países.

## **Abastecimiento de agua**

---

<sup>23</sup> Para el manejo y distribución de aguas compartidas entre México y Estados Unidos, ambos gobiernos firmaron el “Tratado entre el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el gobierno de los Estados Unidos de América de la distribución de las aguas internacionales de los ríos Colorado, Tijuana y Bravo, desde Fort Quitman, Texas, hasta el Golfo de México (Tratado de Aguas, 1944)” (03/02/1944).



Ante el constante crecimiento poblacional de Tijuana, a partir de 1927 se realizaron estudios para evaluar la disponibilidad de agua en los acuíferos del río Tijuana, Alamar y Tecate, los cuales propusieron la construcción de la Presa Abelardo L. Rodríguez sobre el cauce del río Tijuana en la parte oriente del poblado. La construcción de la presa inició en 1928 y concluyó en 1937, teniendo un volumen anual disponible de 11'000,000 de m<sup>3</sup> (y una capacidad de 135 Hm<sup>3</sup>) para atender una población de 60,000 habitantes y el riego de 1,200 has en el valle de Tijuana (CESPT, 2006, PHEBC, 2016). La ciudad de Tecate era abastecida por una batería de pozos sobre el acuífero del río Tecate, que en 1975 se contabilizaron 23, de ellos 13 pozos eran operados por la cervecería Cuauhtémoc y 10 para suministro de la ciudad (CONAGUA, 2015b). Por lo que respecta a Valle de las Palmas, en 1983 se contabilizaron 41 pozos y 28 norias activos, además de 3 manantiales (CONAGUA, 2015c).

Los principales centros urbanos de la CRT siguieron creciendo, por lo que en 1975 iniciaron las obras de construcción del Acueducto Río Colorado – Tijuana (ARCT), con la finalidad de abastecer de agua las ciudades de Tecate, Tijuana y Playas de Rosarito, al sur de Tijuana. El ARCT se concluyó en 1982, pero entró en operaciones completas en 1985. Las características de este acueducto es que recorre una distancia de 125 km desde el valle de Mexicali, al este de la cuenca, y supera una altura de 1,060 m (Sierra La Rumorosa) y posee una capacidad de 5,333 lps. El agua conducida por el ARCT tiene dos derivaciones, la primera en la presa Las Auras (5 Hm<sup>3</sup>) para dar servicio a Tecate durante seis meses, y la presa El Carrizo (43.5 Hm<sup>3</sup>) que suministra agua tanto a Tijuana hasta por seis meses, como a Playas de Rosarito (CEA, 2016).

#### 4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El uso de los recursos hídricos en la CRT está sujeto a una presión cada vez más fuerte debido a dos aspectos. El crecimiento poblacional-urbano, característico de una región que recibe importantes flujos migratorios, y al modelo urbano contemporáneo de concentración de actividades productivas y de servicios. El otro aspecto es el contexto de cambio climático, especialmente para el norte de México, en el que los expertos coinciden en que se presentarán periodos de sequía más intensos, aunque también se presentarán años con lluvias intensas. Si esto se presentara, la infraestructura hídrica urbana no sería suficiente para abastecer a la población, ya que ésta está instalada para depender del ARCT.

El abastecimiento de agua en la CRT fue rebasado a partir de la década de 1970, razón por la cual se firmaron acuerdos para la operación de entregas de emergencia de E.U. a México y abatir, por un lado, la sequía en la parte de mexicana de la cuenca y, por el otro, los problemas en la infraestructura urbana que llevaba el agua hasta las viviendas, especialmente en Tijuana, las cuales presentaban deterioro. La respuesta de México ante la problemática fue la construcción del ARCT para dotar de agua a Tecate y Tijuana y no depender de los volúmenes norteamericanos. Sin embargo, el crecimiento poblacional y urbano continuó, así como los problemas en la infraestructura urbana de dotación de agua (tanques y acueductos), lo que obligó al gobierno mexicano solicitar una extensión hasta por cinco años más del acuerdo de entregas de emergencia E.U.-México, a partir del 19 de enero de 2017 hasta el 19 de enero de 2022 (Acta 322), con lo que incertidumbre de seguir suministrando agua a través del ARCT a la zona cuenca sigue vigente.

El manejo del agua en la CRT está sujeta a dos modelos de gestión. El modelo de Estados Unidos se basa en la descentralización de los servicios de agua y saneamiento a las ciudades y estados, mientras que en México todavía existe una fuerte injerencia en el nivel federal (aguas nacionales). Por lo que respecta al lado mexicano de la CRT, son múltiples los actores que intervienen en el uso de sus recursos públicos, en palabras del Director General del Organismo de Cuenca Península de Baja California, José Alejandro Cervantes Beltrán, respecto al manejo de la CRT “Lo importante es la continuidad en las instancias de gobierno, cuando esto no sucede, recobra mayor relevancia la participación local... es fundamental que la sociedad civil organizada tome en sus manos el tema para llevarlo a cabo y darle seguimiento en el mediano y largo plazo” (comunicación personal, entrevista realizada por Maryel Fonseca, Alfonso Caraveo y Juan Manuel Rodríguez, 21 de febrero de 2018).

Los programas y acuerdos binacionales relacionados al manejo del agua en la CRT son cada vez más necesarios debido a la baja disponibilidad de agua que ofrece la cuenca y al gran número de usuarios. Estos mecanismos y acuerdos obedecen a un enfoque vertical de toma de decisiones donde las instituciones de ambos países están sujetas a influencias políticas, sociales y ambientales pero, sobre todo del lado mexicano de la cuenca, están determinados por periodos de tiempo relativamente cortos a los que están sujetos sus servidores públicos,



con lo que se limita el proceso de planeación y ejecución de las estrategias orientadas al uso sustentable de los recursos hídricos. En este sentido la toma de conciencia y seguimiento de los actores sociales locales, deberán tomar un papel más protagónico para garantizar la implementación y seguimiento de las estrategias para el uso racional, sustentable y con visión de largo plazo en un contexto de cambio climático.

## 5 AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el financiamiento de Fundación Río Arronte y el apoyo logístico de El Colegio de la Frontera Norte y PRONATURA-Noroeste para realizar trabajo de campo.

## 6 LITERATURA CITADA

CEA. 2016. Acueducto río Colorado – Tijuana (presentación). Comisión Estatal del Agua, Gobierno del Estado de Baja California, Mexicali, B.C. En <http://www.cea.gob.mx/arct.html>. Fecha de consultado 5 de septiembre de 2019.

CESPT. 2006. Historia de los acueductos en Tijuana y Playas de Rosarito. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana. Tijuana, B.C.

CONAGUA. 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tijuana (0201), Estado de Baja California. Comisión Nacional del Agua. DOF 20 de abril de 2015. México.

CONAGUA. 2015b. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tecate (0202), Estado de Baja California. Comisión Nacional del Agua. DOF 20 de abril de 2015. México.

CONAGUA. 2015c. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Las Palmas (0205) Estado de Baja California. Comisión Nacional del Agua. DOF 20 de abril de 2015. México.

CONAGUA. 2017a. Precipitación Mensual Acumulada, Estación 028 Presa Rodríguez, Tijuana, 021 La Puerta, Tecate y 101 El Hongo, Tecate, B.C. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Península de Baja California, Mexicali, B.C.

CONAGUA. 2017b. Temperatura Máxima en el Mes, estación 028 Presa Rodríguez, Tijuana, 021 La Puerta, Tecate y 101 El Hongo, Tecate, B.C. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Península de Baja California, Mexicali, B.C.

IMTA. 2015. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. En <https://www.gob.mx/publicaciones/es/articulos/atlas-de-vulnerabilidad-hidrica-en-mexico-ante-el-cambio-climatico?idiom=es>. Fecha de consultado 5 de septiembre de 2019.

INEGI. 2016. Anuario Estadístico y Geográfico de Baja California. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

IERC-DGSDSU. 2005. Una visión binacional para la cuenca del río Tijuana. Instituto para Estudios Regionales de las Californias y el Departamento de Geografía de la Universidad de San Diego. San Diego, California.

PHEBC. 2016. Programa Hídrico del Estado de Baja California, actualizado al 2018. Comisión Estatal del Agua, Gobierno del Estado de Baja California, Mexicali, B.C.



SPA. 2012. Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California. Secretaría de Protección al Ambiente, Gobierno del Estado de Baja California. Mexicali.

SDSU-El Colef. 2005. Tijuana River Watershed Atlas. San Diego State University and El Colegio de la Frontera Norte (eds). San Diego State University Press and Institute for Regional Studies of the Californias. San Diego, CA.

SEDATU-IMPLAN. (2018). Programa Sectorial de Resiliencia Urbana para el Municipio de Tijuana, B.C. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Instituto Metropolitano de Planeación, Tijuana, B.C.

SEMARNAT. 2018. Atlas del Agua en México, edición 2018. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Comisión Nacional del Agua. México.

## **ID-026: EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL CAUDAL ECOLÓGICO EN LOS RÍOS DE LAS SUBCUENCAS YAUTEPEC Y CUAUTLA**

Rebeca GONZÁLEZ VILLELA <sup>a</sup>, Marco MIJANGOS CARRO<sup>b</sup> y Alfonso BANDERAS TARABAY<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec Morelos, email: rebeca\_gonzalez@tlaloc.imta.mx

<sup>b</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec Morelos, email: mijangos@tlaloc.imta.mx

<sup>c</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec Morelos, email: abanderas@tlaloc.imta.mx

### **RESUMEN**

La adaptación al cambio climático requiere de la determinación del régimen de caudales en los ríos para establecer el cambio en el consumo de agua para la población, actividades agropecuarias, industria y generación de energía, con la finalidad de compensar las variaciones en las tasas de precipitación anual en la planeación del recurso hídrico a través de diferentes acciones (traslado de industrias a regiones de mayor humedad, cambio en la morfología de las ciudades para compensar las inundaciones, disponibilidad de agua para la irrigación y control de inundaciones). En México existe poca información limnológica disponible sobre los sistemas de agua dulce y el efecto que está ejerciendo el cambio climático en la cantidad del agua y vulnerabilidad. En este sentido, en el presente estudio se efectúa el análisis comparativo de la variación de la precipitación en relación con la disponibilidad de agua en los ríos de las subcuencas Yautepec y Cuautla para los periodo base y posterior, para determinar el cambio en la disponibilidad de agua en el ecosistema ripario. La precipitación en las dos subcuencas señaló un incremento en la parte norte y sur. Febrero con incremento en las precipitaciones en el río Yautepec y Cuautla, en donde predomina la agricultura de temporal anual y una vegetación de bosque de pino y oyamel. Para la parte media del río Yautepec con vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y la agricultura de riego anual permanente y semipermanente. Octubre con los mayores decrementos de la precipitación. Los caudales en algunas regiones coincidieron con el incremento del porcentaje de precipitación. En otras (Oaxtepec y Las Estacas), con decrementos que indica el efecto sinérgico del uso del recurso hídrico por la población y los efectos del cambio climático. Para Ticumán los efectos en el abatimiento del caudal se asocian con el uso del recurso por influencia humana. Las modificaciones causadas por la actividad humana deben ser estudiadas a través de estudios multidisciplinarios comparativos que determinen los reales problemas derivados del CG en los sistemas de agua dulce y la influencia real del Calentamiento Global en las condiciones climáticas regionales del planeta.

**Palabras clave:** Cambio Climático, Caudal Ecológico, Vulnerabilidad.

### **1 INTRODUCCIÓN**

El Cambio Global (CG), afecta las condiciones climáticas de las diversas regiones del país y ocasiona cambios en los ecosistemas riparios y lacustres. El cambio climático puede tener impactos totalmente impredecibles en el ciclo hidrológico, por lo tanto, es necesario generar los modelos y las metodologías de análisis adecuadas para predecir las tendencias, capturar los impactos biofísicos y las posibles variaciones del cambio climático e incorporar elementos socio-económicos dentro del análisis de los sistemas ecológicos con la finalidad de efectuar un manejo sostenible de los bienes y servicios que proporcionan estos ecosistemas (Cohen (2010), Jones and Wigley, 2010; Swart et al., 2009, Arnell, 2010; Yarime et al., 2010). Algunas de las modificaciones son causadas por la actividad humana, aspecto que propicia la realización de estudios con un enfoque multidisciplinario para el análisis de la problemática del cambio global en los sistemas de agua dulce (Kobashi et al., 2009; Link y Tol, 2009). La adaptación al cambio climático requiere de la determinación del régimen de caudales en los ríos para establecer el cambio en el consumo de agua para la población, actividades agropecuarias, industria y generación de energía eléctrica entre otras, con la finalidad de compensar las variaciones en las tasas de precipitación anual en la planeación del recurso hídrico a través de diferentes acciones (traslado de industrias a regiones de mayor humedad, cambio en la morfología de las ciudades para compensar las inundaciones, disponibilidad de agua para la irrigación y control de inundaciones). Estos cambios tienen consecuencias importantes en las actividades económicas, salud de la población, el ecosistema y la biodiversidad (Swart et al., 2009). En este sentido existe la necesidad de generar



y utilizar las herramientas que pueden ser aplicables para el análisis ecológico, socioeconómico y político para lograr el uso racional de los recursos acuáticos en los ríos regulados por presas (Brown & King, 2003). En México existe poca información limnológica disponible sobre los sistemas de agua dulce del país y el efecto que está ejerciendo el cambio climático en la calidad del agua, contaminación y vulnerabilidad. En este sentido, en el presente estudio se efectúa el análisis comparativo de la variación de la precipitación en relación con la disponibilidad de agua en los ríos de las subcuencas Yautepec y Cuautla para los periodos base y posterior con la finalidad de determinar el cambio en la disponibilidad de agua en el ecosistema ripario.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Los ríos Cuautla y Yautepec descargan sus aguas en el río Amacuzac, principales tributarios del río Balsas. La cuenca del río Yautepec abarca una superficie de 1,226 Km<sup>2</sup>, que representa el 25% del territorio de Morelos. La población total en 2010 en estos municipios fue de 242,197 habitantes (INEGI, 2010). La región se caracteriza por el desarrollo de nuevos corredores turísticos, zonas urbanas e industriales. Existen problemas crecientes de contaminación y riesgos de inundaciones, sumado a un deterioro general de la cuenca que ha tenido consecuencias en la incidencia de enfermedades, en el incremento de azolves en cauces y estructuras; y en la destrucción del patrimonio histórico de puentes, presas, etc. (<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/municipios/17029a.html>). La subcuenca del río Cuautla comprende una superficie aproximada de 76,500 hectáreas, ubicada en las faldas del volcán Popocatepetl (parte del estado de México), hasta el sur del estado de Morelos donde se une al río Amacuzac. En la cuenca se desarrollan procesos productivos que generan problemas esenciales como la extracción de suelo de monte, la pérdida de suelo en las partes altas, una elevada extracción de agua para consumo humano e industrial y en consecuencia una fuerte contaminación a raíz de la transferencia de agua a los usuarios (4,500), de los Distritos de Riego de la zona de estudio con una superficie atendida de riego de 10,500 hectáreas (COEPO, 2014; [http://jacintapalerm.hostei.com/anci\\_cuautla.pdf](http://jacintapalerm.hostei.com/anci_cuautla.pdf); Figura 1).



Figura 1. Ubicación de las subcuencas, estaciones meteorológicas e hidrométricas del Río Yautepec y Cuautla en el Estado de Morelos.

Para el análisis de la variación porcentual de la precipitación en las subcuencas del río Yautepec y Cuautla en el periodo base y posterior, se utilizaron los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas del sistema ERIC III. Versión 2.0 (Extractor Rápido de Información Climatológica del IMTA) que comprendió 19 estaciones meteorológicas con datos de 1924 a 2010 (Cuadro 1 y Figura 1).

Cuadro 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Yautepec y Cuautla

Estac.	Nombre	Longitud	Latitud	Años de Registro	Años
--------	--------	----------	---------	------------------	------



17001	Atlatlahuacán	-98.90	18.93	1924 - 2008	84
17003	Cuautla,(SMN)	-98.96	18.81	1926 – 2006	80
17005	Cuautla, (DGE)	-98.95	18.80	1955 - 2009	27
17012	Oaxtepec, Yau.	-98.96	18.90	1970 - 2010	27
17017	Tetelcingo	-98.93	18.86	1942 - 1973	15
17018	Ticumán, Tlalt.	-99.11	18.76	1955 - 2008	53
17024	Yautepec, Yau.	-99.08	18.86	1955 - 2010	55
17025	Yecapixtla	-98.86	18.85	1963 - 1985	22
17038	Nexpa, Tlalq.	-99.13	18.86	1976 - 2009	33
17043	Yecapixtla E.T.A. 118	-98.86	18.88	1976 - 2008	32
17048	Ocuituco E-5	-98.75	18.88	1976 - 2009	33
17049	Tepoztlán E-12,	-99.11	18.98	1976 - 2009	33
17050	Tlayacapan	-98.97	19.00	1976 - 1983	7
17051	Tototalpan	-98.91	18.98	1976 - 2009	33
17052	Yecapixtla, Yecapixtla	-98.86	18.88	1976 - 2004	28
17054	Moyotepec, Villa de A.	-98.98	18.71	1978 - 2009	31
17060	Alpanocan, Tetela de V.	-98.88	18.71	1980 - 2009	14
17063	Tecajec, Yecapixtla	-98.81	18.78	1981 - 2009	28
17064	Temoalco, Villa de A.	-98.98	18.63	1981 - 2009	28

Ocho de ellas están ubicadas en la subcuenca del río Yautepec y otras once en la Subcuenca del río Cuautla. Para el análisis de la variación del caudal en el río se tomaron en consideración tres estaciones en la Subcuenca del Río Yautepec: Oaxtepec (18199) parte alta; Ticumán (18223) parte media y Las Estacas (18406) parte baja, y en la Subcuenca del Río Cuautla la estación El Almeal (18177), por su ubicación en la parte alta y por la cantidad de información que contenía. El estudio comparativo de los caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas de la subcuenca del río Yautepec (18199, 18223 y 18406) y de la subcuenca del río Cuautla (18177), para el periodo base y posterior se efectuó considerando la información obtenida de las estaciones hidrométricas a cargo de la CONAGUA. Los análisis gráfico-estadísticos no paramétricos se realizaron utilizando el software, V7 IHA (TNC 2006), bajo la hipótesis de que no existen diferencias entre las medianas entre los periodos base y posterior ( $H_0: \mu_1 = \mu_2$  y  $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ ). El método de indicadores de alteración hidrológica (IHA), realiza una aproximación cuantitativa de la hidrología a través de la caracterización de la variación intra-anual de las condiciones de caudal para utilizarlas en los estudios comparativos de los regímenes hidrológicos antes y después de la alteración del sistema por influencia humana o por efectos del cambio climático (González-Villela y Banderas 2015). La ubicación de las estaciones hidrométricas de los ríos Yautepec y Cuautla se encuentran enlistadas en el Cuadro 2 y Figura 1).

Cuadro 2. Ubicación de las estaciones hidrométricas de las subcuencas del río Yautepec y Cuautla (Morelos)

ESTACIÓN	UBICACIÓN	PERIODO BASE	P. POSTERIOR	LON	LAT
18177	EL ALMEAL	1948-1978 ( 31 años)	1979-2011 ( 32 años)	-98.95	18.81
18199	OAXTEPEC	1949-1979 ( 31 años)	1980-2011 ( 26 años)	-98.97	18.90
18223	TICUMAN	1951-1980 ( 30 años)	1981-2011 ( 29 años)	-99.10	18.79
18406	ESTACAS	1968-1988 ( 21 años)	1989-2011 ( 22 años)	-99.11	18.73

### 3 RESULTADOS

*Precipitación.-* La variación promedio mensual porcentual de la precipitación entre los periodos base y posterior en la subcuenca del río Yautepec y Cuautla, señala los mayores decrementos para Tepoztlan (febrero, -71.58 %) y Nexpa-Tlalquitenango (febrero, -66.67%). Por el contrario, los mayores incrementos en la precipitación se



observaron en la época de secas en la estación Nexpa-Tlalquiltenango con 62.94%; Oaxtepec-Yautepec con 47.24%; Tototalpan con 45.49% (enero) y Yautepec-Yautepec con 35.50% (Figura 3).

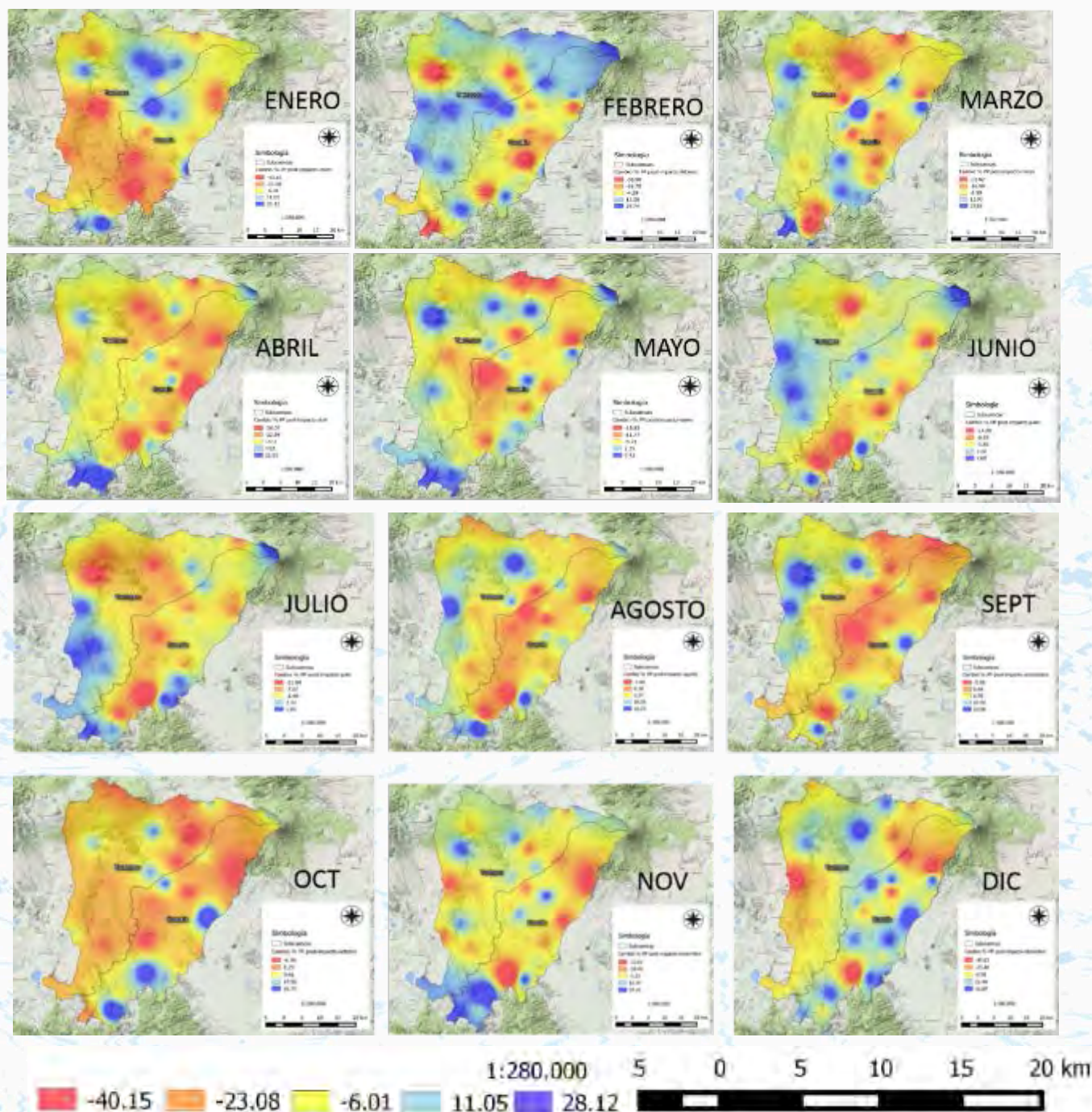


Figura 3. Variación promedio porcentual de la precipitación mensual entre los periodos base y posterior para las subcuencas del río Yautepec y río Cuautla.

Los meses con los mayores decrementos porcentuales en la precipitación durante el año fueron: febrero, abril, noviembre y diciembre, en las estaciones meteorológicas Alpalcán, Tecajec y Tecomalco Villa de Ayala, respectivamente. Sin embargo, la estación Tetelcino mostró los mayores incrementos en la época de invierno (enero, febrero y marzo), con respecto a las otras estaciones meteorológicas, con 72.76, 47.72 y 98.10%, respectivamente (Figura 3). El mes de febrero fue el más favorecido con respecto al incremento de las precipitaciones en la parte norte de las subcuencas del río Yautepec y Cuautla, donde predomina la agricultura de temporal anual y la vegetación dominante es el bosque de pino y oyamel. Por el contrario en la parte alta de la



subcuenca el mes de octubre fue el mes más afectado por los decrementos de la precipitación en las subcuencas del río Yautepec y Cuautla, donde predomina la agricultura de temporal anual y el bosque de pino y oyamel.

*Disponibilidad de agua para el Caudal Ecológico.*- En la cuenca alta del río Yautepec (Estación Oaxtepec, 18199), los promedios mensuales de los caudales calculados para el periodo base (1949-1979; 31 años) y posterior (1980-2011; 26 años), señala el decremento en la disponibilidad de agua de forma significativa entre los periodos analizados, que puede ser atribuido a la utilización del recurso para la agricultura y por la población después de la construcción de los represamientos. Es importante mencionar que para esta estación se observa un decremento significativo en la precipitación de -38.57% en el mes de marzo y de un -19.84% en el mes de abril, que coincide con el máximo decremento en los caudales en este segmento en el periodo posterior. Sin embargo, se observa el incremento de la precipitación para esta área en el mes de febrero (47.24%), sin ninguna influencia en el incremento de los caudales como debería de esperarse, que se explica por el uso del recurso por la población. Aspecto que puede relacionarse con el efecto sinérgico del cambio climático en la disponibilidad de agua para el río (Figura 4).

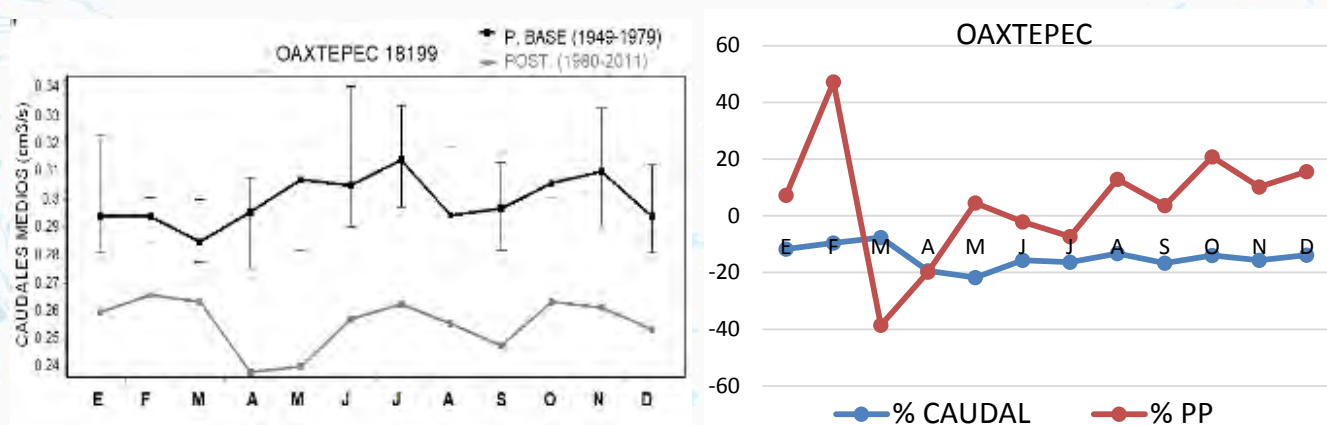


Figura 4. Caudales medios mensuales y porcentaje de variación de la precipitación entre los periodos base (1949-1979) y posterior (1980-2011) en la estación Oaxtepec (18199).

Los promedios mensuales de caudales calculados para la estación Ticumán (18223) de la parte media de la Subcuenca del Río Yautepec para el periodo base (1951-1980; 30 años) y posterior (1981-2011; 29 años), señalan una alteración en el régimen hidrológico significativo solo para los meses de junio y noviembre (Figura 5). Sin embargo, para esta zona se observa un incremento de la precipitación no significativo de 14.04% en septiembre y de 19.63% en noviembre y que coinciden con los incrementos porcentuales en los caudales. Sin embargo, para este último mes el porcentaje de decremento es del 70%, aspecto que puede ser asociado con la utilización del recurso para actividades de tipo antrópico. Por lo tanto, estas variaciones con tendencia negativa en el caudal no pueden ser atribuidas a los efectos del cambio climático, sino a la influencia humana.



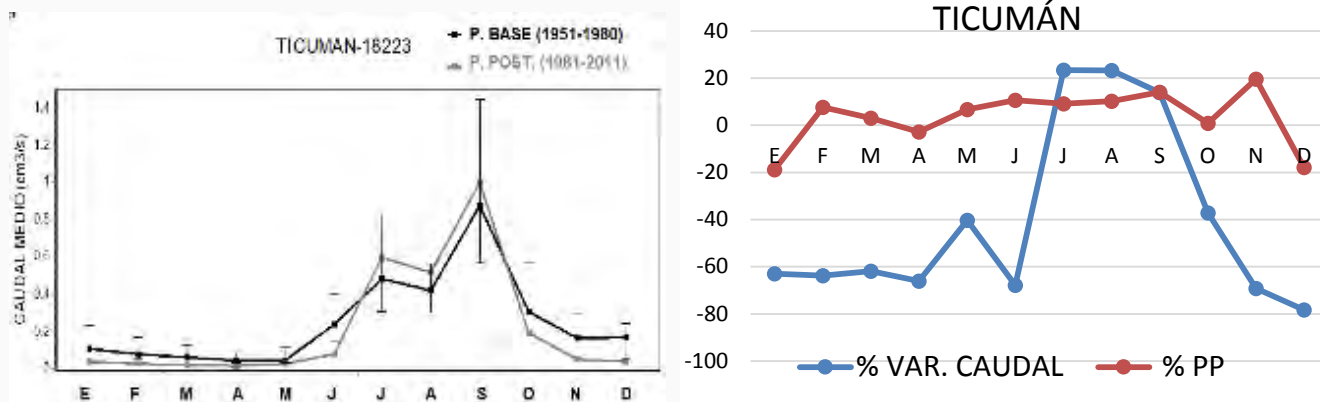


Figura 5. Caudales medios mensuales y porcentaje de variación de la precipitación entre los periodos base (1951-1980) y posterior (1981-2011) en la estación Ticumán (18223).

Los promedios mensuales de caudales calculados para la estación Las Estacas (18406), parte baja de la Subcuenca del Río Yautepec para el periodo base (1968-1988; 21 años) y posterior (1989-2011; 22 años), señalan una alteración en el régimen hidrológico significativo en los promedios mensuales de los meses de abril, julio, agosto y septiembre. El comportamiento de la precipitación porcentual observa un decremento significativo en los meses de abril (-65.26%), mayo (-18.29), junio (-31.59%), julio (-31.97%), agosto (-14.94%). Las modificaciones en el caudal para este periodo (julio – octubre) pueden se atribuidas a la influencia humana y a los efectos del cambio climático (Figura 6).

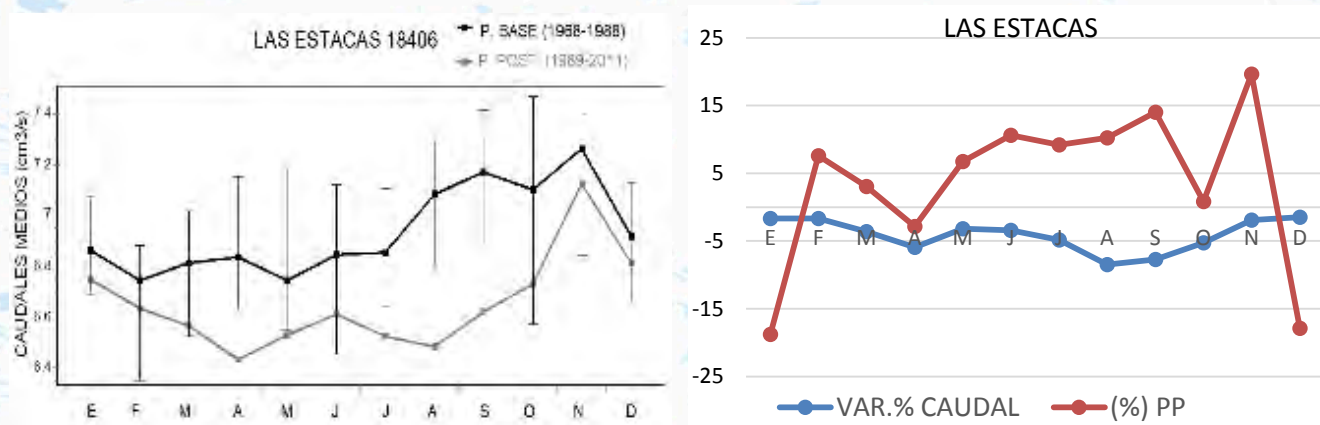


Figura 6. Caudales medios mensuales y porcentaje de variación de la precipitación entre los periodos base (1968-1988) y posterior (1989-2011) en la estación Las Estacas (18406).

Los promedios mensuales de los caudales calculados para la estación El Almeal ubicada en la parte alta de la Subcuenca del Río Cuautla para el periodo base (1948-1978; 31 años) y posterior (1979-2011; 32 años), señalan una alteración significativa en el régimen hidrológico en los promedios mensuales en todos los meses del año (Figura 7). Coincidentemente, en esta zona se observa un decremento significativo en los porcentajes de precipitación durante todo el año (excepto noviembre) y que van de -29.65% para enero, hasta -0.39% en agosto. Aspecto que puede ser asociado con el abatimiento de los caudales durante el año para esta estación y señalar los efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua para el río Cuautla (Figura 7).

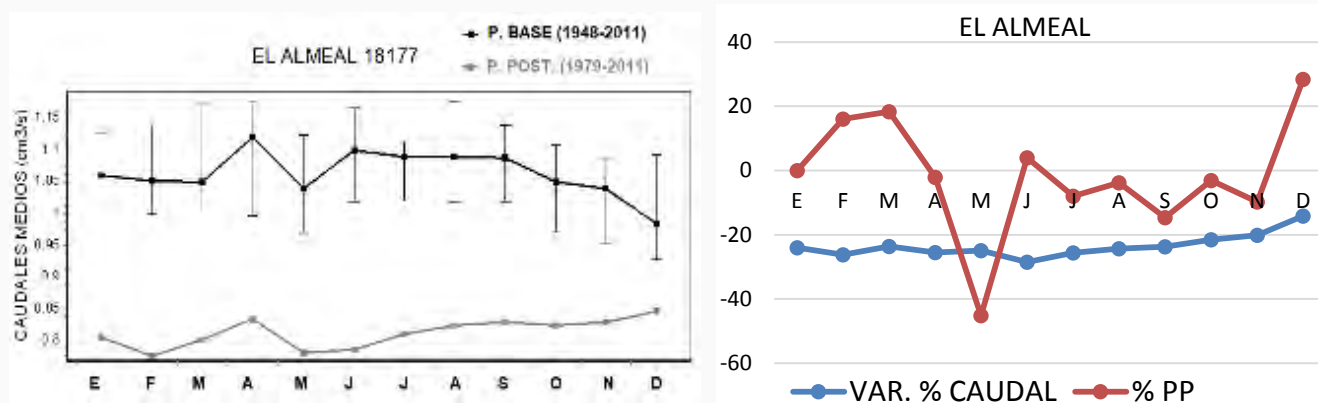


Figura 7. Análisis comparativo del caudal y porcentaje de variación de la precipitación en la estación El Almeal de la subcuenca del río Cuautla, respectivamente.

*Caudales Ecológicos e Indicadores de Alteración Hidrológica.*.- En la estación hidrométrica Oaxtepec (subcuenca río Yautepec), los caudales extremos bajos se incrementaron, los caudales bajos se decrementaron, los pulsos de caudal alto prácticamente desaparecieron, las pequeñas inundaciones no se dieron, las grandes inundaciones desaparecen. Con las mayores alteraciones hidrológicas en: el incremento de caudales medios mensuales y en el número de días con caudal mínimo y máximo. Así como en el número y duración de los pulsos de caudal bajo. Incremento en pulsos altos, cambios en las tasas de variación (a negativas) e inversiones del caudal. Perdida de la frecuencia, magnitud y periodicidad de los caudales, señalando el abuso en la utilización del recurso para la agricultura y por la población después de la construcción de las represas (Figura 8).

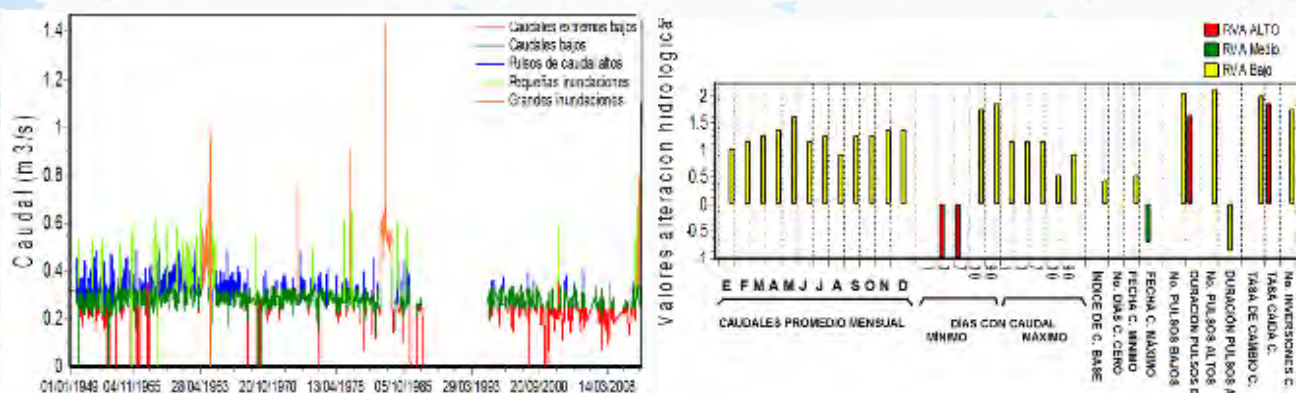


Figura 8. Caudales Ecológicos e Indicadores de Alteración Hidrológica en la Estación Oaxtepec.

Sin Embargo, en la estación hidrométrica Ticumán (subcuenca de Yautepec), las pequeñas variaciones y diferencias significativas en junio y noviembre entre los periodos base y posterior pueden ser debidas al cambio climático. Los índices de alteración hidrológica señalan un decremento en los caudales medios del mes de enero, junio, agosto y septiembre (lluvias), así como en los caudales mínimos diarios con una duración de 3, 7 y 30 días. Por el contrario un incremento en los caudales máximos de una duración de 1, 3, 7 y 30 días (clima extemosos). Asimismo, un incremento en la fecha del caudal máximo, en la duración de los pulsos de caudal altos y en la tasa de incremento. En el caudal base y en los pulsos de caudal bajos una tendencia hacia condiciones de sequía (Figura 9).



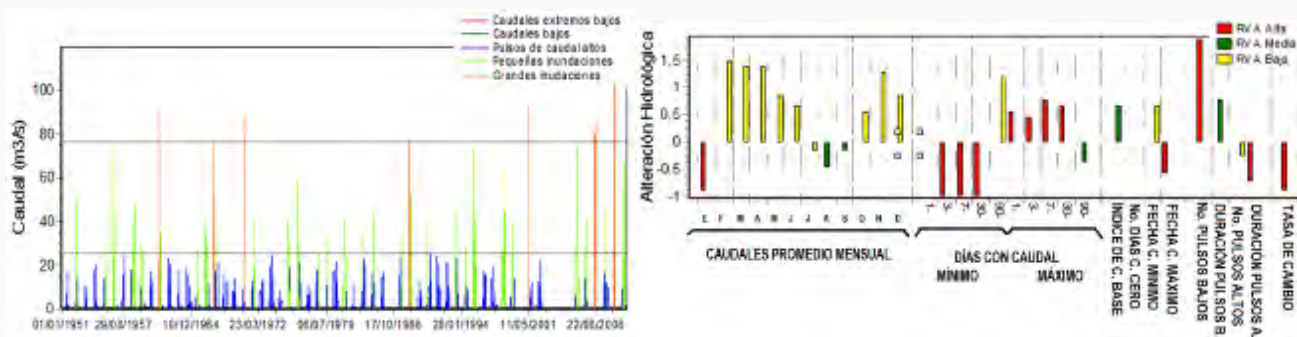


Figura 9. Caudales Ecológicos e Indicadores de Alteración Hidrológica de la Estación Ticumán.

En la estación hidrométrica Las Estacas (subcuenca del río Yautepec), los componentes de caudal ecológico muestran alteraciones en las pequeñas y grandes inundaciones en el periodo posterior (1980-2000). Las mayores decrementos significativos en los caudales medios en mayo, julio, octubre y noviembre, e incrementos en agosto y septiembre (clima extremo por efecto del cambio climático). Decrementos en los caudales mínimos y máximos diarios con una duración de 3, 7, 30 y 90 días. Duración de los pulsos de caudal altos y en la tasa de incremento del caudal (lluvias torrenciales). Por el contrario un incremento en el caudal base, fecha del máximo caudal, y tasa de decremento de los caudales (desfasamiento de la estación lluviosa). Para los caudales medios y el número inversiones del caudal, pueden ser atribuidas en mayor porcentaje a la influencia humana y en menor magnitud por el cambio climático, excepto para marzo y diciembre (Figura 10).

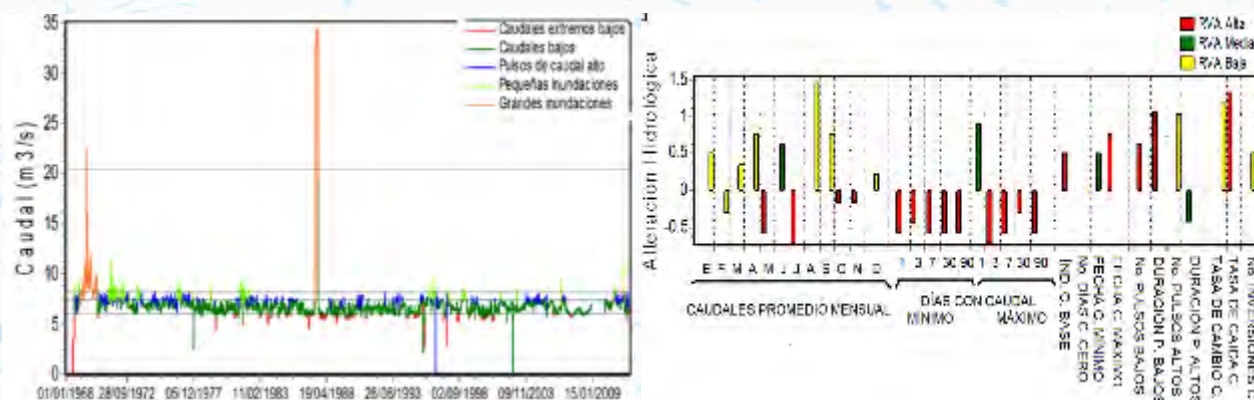


Figura 10. Caudales Ecológicos e Indicadores de Alteración Hidrológica de la Estación Las Estacas.

En la estación hidrométrica El Almeal (subcuenca río Cuautla), señala diferencias significativas en todos los componentes de caudal ecológico, excepto para los caudales medios de marzo y diciembre, y en el número de inversiones del caudal. Los caudales extremos bajos se incrementaron e hicieron más frecuentes, los caudales bajos prácticamente desaparecieron, los pulsos de caudal altos desaparecieron, así como las pequeñas y grandes inundaciones en el periodo de posterior modificaciones que pueden ser explicadas por influencia humana. Los indicadores de alteración hidrológica señalan, modificación en los promedios de caudal para todo el año, en la duración de los días con mínimo y máximo caudal, un incremento en la tasa del caudal base, así como en el número de pulsos altos y bajos, tasas de incremento y decremento de los caudales e inversiones y la menor duración de pulsos bajos, situación que refleja una alteración en todos los componentes de caudal ecológico. Y por lo tanto, modificaciones que pueden ser explicadas por influencia humana (Figura 11).



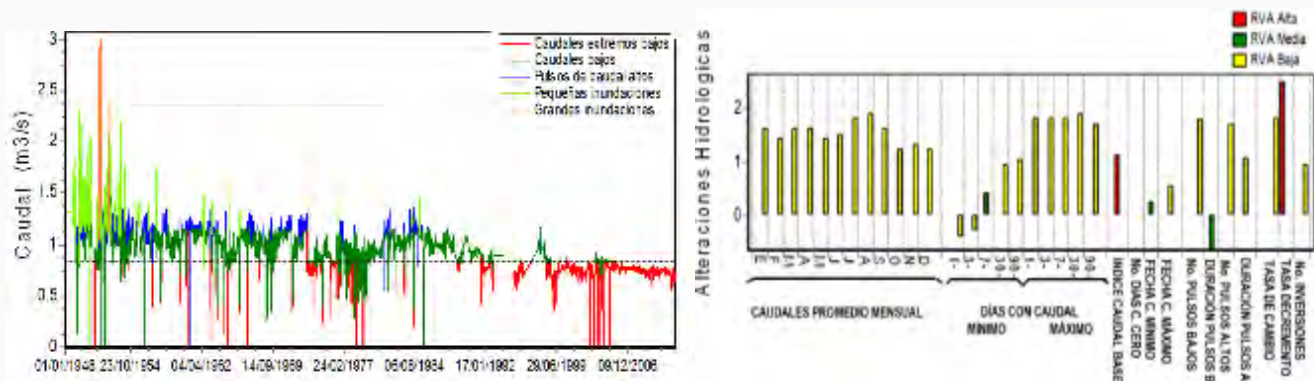


Figura 11. Caudales Ecológicos e Indicadores de Alteración Hidrológica de la Estación El Almeal.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los incrementos en las precipitaciones en el invierno en la parte norte del río Yautepec y Cuautla (febrero) resultaron contrario a lo esperado. Así como, para la parte media de la subcuenca del río Yautepec donde predomina la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y la agricultura de riego anual permanente y semipermanente. En la época de lluvias con los mayores decrementos de la precipitación en octubre, inversamente a lo registrado con anterioridad que señalan un cambio climático, aspecto que ha sido mencionado por otros autores como una de las amenazas más urgentes para el desarrollo sostenible en todo el mundo. En el Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2014) se menciona que el 93% de los impactos asociados con el cambio climático se sentirán en los ecosistemas acuáticos (MacAlister y Subramanyam 2018). Asimismo, la variación de la precipitación mensual en las dos subcuencas señaló un incremento en la parte sur. La modificación de los caudales en algunas regiones mostró coincidencias con el incremento del porcentaje de precipitación registrado como debiera de esperarse, por el contrario se observa un decremento significativo para todos los meses del año sobre todo en las estaciones meteorológicas Oaxtepec (18199) y Las Estacas (18406), decremento que indica el efecto sinérgico del uso del recurso por la población y los efectos del cambio climático. Sin embargo, para Ticumán los efectos en el abatimiento del caudal se asocian con el uso del recurso por influencia humana. Los impactos del cambio climático se ven exacerbados por el rápido crecimiento de la población, la rápida urbanización y el desarrollo económico caótico, particularmente donde las demandas de agua ya exceden los suministros limitados. El cambio climático está alterando los patrones de precipitación y el deshielo, impactando la frecuencia y magnitud de los caudales en los ríos, las inundaciones y sequías, y contribuyendo a eventos climáticos más extremos e incendios forestales en todo el mundo en forma coincidente en las subcuencas del río Yautepec y Cuautla (MacAlister y Subramanyam 2018). El hidropereodo determinan la presencia de ciertas plantas y animales en los diferentes estratos de la zona ribereña y el cauce, siendo el factor dominante que marca la diferencia en la ribera y cauces en los ríos, y constituye la variable más importante en la estructura del corredor fluvial (Reynolds, 1993; Rosenberg et al., 2000). Por lo mismo los modelos de hidropereodo son una herramienta útil en el análisis de las distribuciones de los organismos durante el año y las modificaciones causadas por la actividad humana deben ser estudiadas a través de estudios multidisciplinarios comparativos para determinar los reales problemas derivados del CG en los sistemas de agua dulce y para poder determinar la influencia real del Calentamiento Global en las condiciones climáticas regionales del planeta y su influencia en los ecosistemas fluviales (Kobashi et al., 2009; Link y Tol, 2009). Por lo tanto, las dimensiones y procesos observados en el desarrollo de las cuencas entre ellos el caudal ecológico, deben de abordarse en forma sistémica, partiendo de enfoques integradores y articulantes para generar las acciones para el manejo, conservación y recuperación de los cuerpos de agua, así como los mapas de vulnerabilidad y las líneas de acción para la adaptación al cambio climático (Yarime et al., 2010; De la Maza y Carabias, 2011).



## 5. LITERATURA CITADA

- Arnell N.W. 2010. Adapting to climate change: an evolving research programme. *Climatic Change*, 100: 107–111.
- Brown, C. y King, J. 2003. Environmental Flows: Concepts and Methods. En: *Water Resource and Environment Technical Note 1*. (Eds). Davis, R. y Hirji, R. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Washington, D.C.
- COEPO. Consejo Estatal de Población (2014). Municipio de Cuautla. Región Sierra Occidental. Fecha de consulta el 09 de diciembre de 2018. Disponible en [www.bing.com/search?q=municipio+de+cuautla&form=PRMXES&pc=MDDCJS&refig=24383ff578b7448ab05071bf7227b361&pq=municipio+de+cuautla&sc=5-20&sp=-1&q=n&sk=](http://www.bing.com/search?q=municipio+de+cuautla&form=PRMXES&pc=MDDCJS&refig=24383ff578b7448ab05071bf7227b361&pq=municipio+de+cuautla&sc=5-20&sp=-1&q=n&sk=).
- MacAlister, Ch. y Subramanyam, N. 2018. Climate change and adaptive water management: innovative solutions from the global South, *Water International*, 43:2, 133-144, DOI: 10.1080/02508060.2018.1444307
- De La Maza, J. y Carabias, L.J. 2011. *Usumacinta bases para una política de sustentabilidad ambiental*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua – Natura y Ecosistemas Mexicanos, A.C., México. 252 pp.
- Dyson, M., Bergkamp, G. y Scanlon, J.J. 2003. *Flow*. Editorial UICN. UK. 125 p.
- González Villela, R y Banderas T.A. 2015. *Metodogías para el Cálculo de Caudales Ecológicos y Ambientales en Ríos Regulados por Presas*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Disponible en [www.imta.gob.mx/biblioteca-digital](http://www.imta.gob.mx/biblioteca-digital).
- Jones, Ph. D., Wigley, T.M.L. 2010. “Estimation of global temperature trends: what’s buckets important and what isn’t”. *Climatic Change*, 100:59–69.
- Kobashi T, Severinghaus, J.P., Barnola, J.M., Kawamura, K., Carter, T. Nakaegawa, T. 2009. Persistent multi-decadal Greenland temperature fluctuation through the last millennium. *Climatic Change*. DOI 10.1007/s10584-009-9689-9.
- Proyecto de Gestión de la Sociedad Civil del Estado de Morelos. 2014. Río Yautepec. Disponible en <http://148.202.114.23/derns/wp-content/uploads/2011/07/Rio-Yautepec-Raul-Flores.pdf>. Consultado el día 27/febrero/2014.
- Link, P.M., Tol, R.S.J. 2009. Estimation of the economic impact of temperature changes induced by a shutdown of the thermohaline circulation: an application of FUND. 201. *Climatic Change*. DOI 10.1007/s10584-009-9796-7.
- Reynolds, C.S. 1993. The ecosystem approach to water management. The main features of the ecosystems concept. *Journal Aquatic Ecosystem Health*, 2:3-8.
- Rosenberg, D.M., McCully, P. y Pringle C.M. 2000. Global-scale environmental effects of hydrological alterations: introduction. *BioScience*, 50 (9): 746 – 751.
- Tharme, R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19. 397 – 441.
- TNC, The Nature Conservancy. 2006. *Indicators of Hydrologic Alteration*. Version 7, User’s Manual, Totten Software Design, Smythe Scientific Software, USA. Disponible en [www.core.ecu.edu/wasklewicz/GEOG7221/iha\\_man.pdf](http://www.core.ecu.edu/wasklewicz/GEOG7221/iha_man.pdf).
- Yarime M, Takeda Y. y Kajikawa Y. 2010. Towards institutional analysis of sustainability science: a quantitative examination of the patterns of research collaboration. *Sustain Sci.*, 5: 115–125.



# **ID-028: SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN EN ASENTAMIENTOS RURALES EN ZONAS REMOTAS: CASO DE ESTUDIO EN UNA CUENCA MONTAÑOSA DE LA REGIÓN SIERRA-COSTA DE MICHOACÁN**

M. Lourdes GONZALEZ-ARQUEROS<sup>a</sup>, Manuel E. MENDOZA<sup>b</sup>, Gerardo BOCCO<sup>c</sup>, Berenice SOLÍS<sup>d</sup>

<sup>a</sup>CONACYT – Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo / Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Morelia, Michoacán, lourdes.gonar@gmail.com

<sup>bc</sup>CIGA/UNAM Morelia, Michoacán, <sup>b</sup>mmendoza@ciga.unam.mx, <sup>c</sup>gbocco@ciga.unam.mx

<sup>d</sup>CONACYT-CIGA/UNAM, Morelia, Michoacán, bsolis@ciga.unam.mx

## **RESUMEN**

La preparación de mapas relacionados a los riesgos naturales es esencial para la prevención y mitigación de desastres. La cuenca Nexpa, en la Sierra-Costa de Michoacán, es una cuenca montañosa ocupada por poblaciones rurales y dispersas, con vías de comunicación altamente vulnerables a los peligros hidrometeorológicos debido a su condición de difícil acceso en caso de eventos catastróficos. El objetivo de este estudio es mapear las zonas inundables de la cuenca y la susceptibilidad medioambiental al riesgo de inundación en función de la geopedología, topografía, cobertura y uso de suelo, con el fin de evaluar la vulnerabilidad de las comunidades rurales y sus vías de comunicación. Se mapeó la morfología del terreno y se aplicó la técnica de superposición ponderada a través de Sistemas de Información Geográfica para la generación de mapas de susceptibilidad a la inundación. Los resultados mostraron que un 13% de las localidades y un 7% de las vías de comunicación se encuentran en zonas inundables. Los mapas basados en factores ambientales mostraron una susceptibilidad media y baja. La información generada es útil y efectiva en zonas con escasa o nula información hidrográfica, y posee la capacidad de ser una fuente robusta de información para los tomadores de decisiones y planificadores del terreno en cuestiones de mitigación de inundaciones y planeación del uso de suelo.

**Palabras clave:** Mapeo de morfología del terreno, análisis de superposición ponderada, peligros naturales, evaluación multicriterio.

## **1 INTRODUCCIÓN**

La Sierra-Costa de Michoacán es vulnerable a las inundaciones debido a la confluencia de diversos factores desfavorables. Uno de ellos es su localización, esta zona recibe de forma recurrente tormentas tropicales con precipitaciones intensas. Por otro lado, aunque la cuenca tiene baja densidad de población, los asentamientos son dispersos y rurales en su gran mayoría, a los cuales se accede por caminos o brechas con limitado mantenimiento. Estos factores, aunado a una falta de alerta temprana a peligros hidrometeorológicos en la región, confieren una alta vulnerabilidad a la cuenca (Ferreira Silva et al., 2017; Ntajal, Lamptey, Mahamadou, & Nyarko, 2017; Ribera Masgrau, 2004).

Las inundaciones son uno de los peligros hidrometeorológicos más abundantes y devastadores en México y en el mundo entero, causando tanto daños económicos como pérdidas de vida (Adhikari *et al.*, 2010; Alcántara-Ayala, 2002). Los principales factores que influyen en los eventos de inundación son meteorológicos y fisiográficos, los cuales afectan directamente a la escorrentía superficial (Costa, 1987), en conjunto con las características topográficas, geológicas y de los suelos de la cuenca (Modrick & Georgakakos, 2015). Así mismo, el riesgo de inundación se puede ver incrementado por otro peligro hidrometeorológico, los deslizamientos, los cuales también ocurren bajo condiciones de excesiva precipitación con una intensidad alta, a su vez, estos intensifican la ocurrencia de avenidas y la acumulación de flujos, promoviendo en respuesta, el riesgo a inundación (Alcántara-Ayala, 2002).

Se han dirigido muchos esfuerzos en evaluar el peligro de inundaciones con fines de prevención y mitigación (Gallina et al., 2016; Kellens, Terpstra, & De Maeyer, 2013; Rufat, Tate, Burton, & Sayeed Maroof, 2015; Teng et al., 2017; Wenger, Hussey, & Pittock, 2013). Específicamente, Perucca & Angileri (2011) analizaron las propiedades morfométricas para evaluar el riesgo a inundación repentina, y de esta forma pudieron sugerir la



implementación de medidas de mitigación. La caracterización de la morfología del terreno y el mapeo de las geoformas es una herramienta esencial en la evaluación del riesgo a inundaciones (Cunha, Magalh, Domingos, Abreu, & Küpfer, 2017), tiene un bajo costo y ofrece una gran posibilidad para ser usada por los tomadores de decisiones y en la planeación del territorio (Scheuer, Haase, & Meyer, 2013). Otra ventaja es que esta metodología es aplicable a cualquier escala, puesto que la identificación de la geomorfología se puede mapear y categorizar tanto a escalas grandes como pequeñas.

El análisis geomorfológico es fundamental en la evaluación del riesgo a inundación (Alcántara-Ayala, 2002) ya que el terreno de una cuenca afecta la respuesta a través de los efectos combinados de la evolución de las corrientes de acuerdo al relieve topográfico (Saharia, Kirstetter, Vergara, Gourley, & Hong, 2017). Como método físico y topográfico, reconoce y mapea, geoformas caracterizadas por diferentes parámetros del terreno superficial, que se relacionan directamente con los flujos de agua, erosión de suelo y acumulación de sedimentos, y vegetación (Cunha *et al.*, 2017). Otro método popular en el análisis de peligros naturales es la técnica weighted overlay, es una evaluación multicriterio compleja que combina factores para clasificar y evaluar, dándole un porcentaje de influencia a cada factor, y un valor dentro de una escala determinada a cada clase que contengan los factores (Mayfield, 2015), determinando la susceptibilidad medioambiental a un peligro hidrometeorológico en específico.

Con el fin de proporcionar información actualizada, eficaz y de fácil acceso como parte primordial en la creación de alertas tempranas en zonas remotas, este trabajo tiene como propósito: (i) identificar las zonas inundables mediante el mapeo de geoformas en la cuenca Nexpa, en la región Sierra-Costa de Michoacán, México (ii) caracterizar y establecer una relación de los factores que afectan a las inundaciones en la cuenca, (iii) evaluar mediante la ponderación de criterios las zonas más susceptibles a inundación, y (iv) explorar los resultados desde la perspectiva de la vulnerabilidad de los asentamientos rurales y vías de comunicación presentes en la cuenca.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

La cuenca del río Nexpa en la región Sierra-Costa de Michoacán, está localizada en el occidente de la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur y en el sector noroccidente de la subprovincia Cordillera Costera del Sur (INEGI, 2008). Se caracteriza por la presencia de una serie de montañas, con elevaciones de hasta 2,600 msnm, y valles definidos por los cauces de los afluentes principales (Fig. 1). El clima es tropical seco, con una temperatura media anual alrededor de 20°C, que varía con el gradiente altitudinal. La precipitación está asociada con los vientos del oeste y ciclones tropicales, que comúnmente ocurren entre Mayo y Octubre (Segundo-Métay and Bocco, 2015).

La vegetación predominante, según Aguirre López (2015), son bosques de coníferas y latifoliadas que ocupan el 39% de la superficie de la cuenca de Nexpa, a una altitud entre 600 y 2,800 msnm. Las selvas bajas distribuidas en la zona del barlovento de la Sierra Madre del Sur, ocupa el 30.5%. Los pastizales ocupan el 25.7% de la cuenca de Nexpa, se asocian con la actividad ganadera. Los cultivos, tanto de temporal como de riego, se extienden en casi el 10% del área.

### **Metodología de mapeo morfológico de tierras**

En este método se usan tres archivos de entrada: pendiente, corrientes y crestas, para la clasificación de geoformas. La intersección de los criterios designados a continuación permite clasificar el terreno en las siguientes geoformas (Cunha *et al.*, 2017):

- Laderas empinadas, pendientes >25%
- Laderas, pendientes entre 7 - 25%, y pendientes <7% que no contienen corrientes ni crestas
- Cumbres, pendientes <7% que contienen crestas
- Fondos de valle, pendientes <7% que contienen corrientes



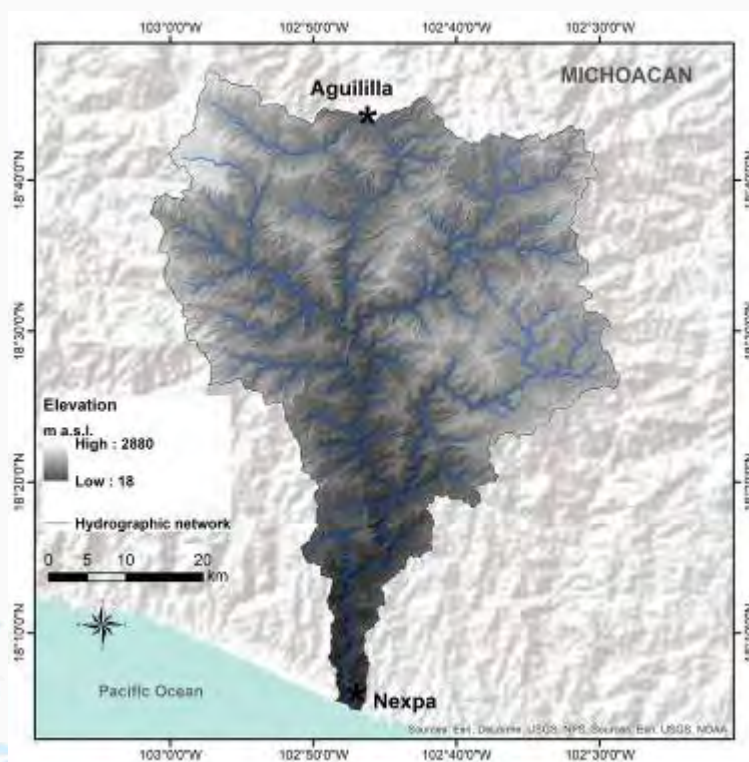


Figura 1. Localización y elevación de la Cuenca del Río Nexpa en la región Sierra-Costa de Michoacán.

De manera relativamente arbitraria se toma el valor de 7% de pendiente como referencia para distinguir zonas planas o casi planas (fondos de valle y cumbres) de laderas debido a que la cuenca presenta pendientes muy pronunciadas que se presentan en zonas muy próximas a los cursos fluviales, normalmente en valles estrechos. Se realizó una superposición del mapa resultante con las capas de localidades y caminos de la cuenca para identificar los que se encuentran ubicados dentro de las geoformas de fondos de valle.

### Técnica de superposición ponderada a través de GIS

Mediante este método se definen áreas con mayor susceptibilidad al peligro de inundación en función de los factores de entrada. Es un método cuantitativo que permite incorporar consideraciones cualitativas, donde se determina una relación de factores relevantes y se asigna un peso a cada factor (Tabla 2), este valor refleja su importancia relativa (Mayfield, 2015) y se determina después de pruebas previas. Los factores que se tuvieron en cuenta se transformaron en 8 archivos de entrada: la pendiente, la curvatura, la distancia a la corriente, la acumulación de flujo y las geoformas (capa creada a partir del mapeo morfológico del terreno) determinan la acumulación y dirección del flujo del agua, el uso de suelo determina la cobertura del terreno, la textura superficial del suelo determina (junto con otros factores) la porosidad del suelo que influye en la infiltración del agua y la permeabilidad de la roca (normalmente subyacente al suelo) determina la infiltración del agua una vez atravesado el suelo. En mayor o menor grado todos los factores se relacionan con la capacidad de infiltración y/o escorrentía superficial, y por lo tanto con la capacidad de acumulación de agua en una zona en específico. La selección de los factores se basó en una revisión de la literatura (Guevara Ortiz et al., 2004; Rahmati, Zeinivand, & Besharat, 2016; Salas Salinas & Jiménez Espinosa, 2004) y disponibilidad de la información.

En el caso de la ponderación de los factores topográficos, los datos primarios que se utilizaron en su elaboración presentan una resolución aceptable (escala 1:50,000) de acuerdo a la escala de trabajo regional. Por lo tanto, la influencia de los factores se determinó de acuerdo a la bibliografía consultada y a las pruebas previas realizadas. En cambio, en la ponderación de los factores no topográficos, los factores de uso de suelo, textura de suelo y permeabilidad de la roca provienen de datos primarios con menor resolución (escala 1:250,000), debido a esto, el peso que se les asignó en conjunto fue menor que a los factores topográficos (Tabla 2).



Tabla 2. Valores de superposición ponderada (% de influencia) para los factores de la susceptibilidad a inundación.

<b>Factor</b>	<b>Topográfica</b>	<b>No topográfica</b>	<b>Todos</b>
Pendiente	20		15
Curvatura	20		15
Geoforma	25		20
Distancia a la corriente	15		5
Acumulación de flujo	20		15
Uso de suelo		35	10
Textura de suelo		50	15
Tipo de roca (permeabilidad)		15	5

Las clases de cada archivo de entrada se clasificaron con valores de 1 a 5, el número 5 representa las condiciones más favorables para las inundaciones (Mayfield, 2015). Los factores se clasificaron en topográficos: pendiente, curvatura, distancia a la corriente, acumulación de flujo y geoforma; y no topográficos: uso de suelo, textura superficial del suelo y permeabilidad de la roca.

La pendiente se clasificó en 7 clases, el valor más alto se asignó a las pendientes  $<7\%$  debido a que corresponde con uno de los criterios utilizados en el mapeo de las zonas potencialmente inundables, y a que las pendientes bajas en posiciones bajas tienen mayor susceptibilidad a la inundación. La curvatura se clasificó en 7 clases, el valor más alto se asignó a las curvaturas cóncavas, debido que este tipo de geometrías favorecen la acumulación de agua, y por lo tanto son más susceptibles a la inundación. La distancia a la corriente se clasificó en 5 clases, el valor más alto se asignó a las zonas más próximas a las corrientes, ya que estas tienen mayor influencia y pueden ser más fácilmente inundables. La acumulación de flujo se clasificó en 5 clases, asignando los valores más altos a las celdas donde confluyen un mayor número de flujos, y por tanto reciben la influencia de una mayor área de captación. Las geoformas se clasificaron en 4 clases, de acuerdo al mapa creado a partir de las zonas potencialmente inundables, donde el valor más alto se asigna a los fondos de valle y el valor más bajo a las superficies cumbres.

El uso de suelo se clasificó en 6 clases, los valores más altos se asignaron a los usos urbanos y de cuerpo de agua, en el primer caso debido a que estos usos tienen un sellamiento de la superficie, lo cual impide la infiltración y promueve la acumulación de agua, y con ello las inundaciones. Seguido del uso de agricultura de riego, debido a que por su manejo, el suelo podría encontrarse saturado, dificultando la infiltración del agua y promoviendo la acumulación e inundación. Los valores más bajos se asignaron a los usos de bosque, vegetación secundaria y pastizales, en este orden respectivamente, debido a que la vegetación y las raíces promueven una buena estructura del suelo, que a su vez promueve una buena infiltración, disminuyendo la susceptibilidad a la inundación.

La textura de suelo se clasificó en 5 clases, los valores más altos se asignaron a las texturas más finas, ya que debido al tamaño de partícula, y aunque existen otros factores que pueden influir, en general los poros del suelo serán más pequeños, causando una menor infiltración o más lenta, promoviendo la susceptibilidad a la inundación en ambos casos. Los valores más bajos se asignaron a las texturas más gruesas y con presencia de pedregosidad, ya que promoverán más y mayores poros, facilitando la infiltración del agua. La permeabilidad de la roca se clasificó en 11 clases de acuerdo a la Guía de Índices de Permeabilidad de Instituto Geológico Británico (Lewis, Cheney, & ÓDochartaigh, 2006).

El procedimiento de análisis consistió en la conversión de datos vector-raster, integración temática-superposición y evaluación multicriterio mediante Model Builder, aplicación que se utiliza para crear, editar y administrar modelos. Los modelos son flujos de trabajo que encadenan secuencias de herramientas de geoprocésamiento (ESRI®). En función de los factores biofísicos de la cuenca Nexpa, de acuerdo a los porcentajes de influencia de la Tabla 2 y según la clasificación de valores asignados, se obtuvieron los mapas de susceptibilidad a eventos de inundación de: a) ponderación de los factores topográficos, b) ponderación de los factores no topográficos, y c) ponderación de todos los factores en conjunto.



### 3 RESULTADOS

A partir de primer método utilizado, el método de mapeo morfológico, se obtuvo la diferenciación de geoformas y delimitación de las zonas inundables de la cuenca (Fig. 3). De entre las cuatro geoformas mapeadas: cumbres, laderas empinadas, laderas y fondos de valle, estas últimas son las únicas zonas propensas a inundarse debido a sus características morfológicas. El resto de geoformas difícilmente se verían afectadas por inundaciones. En el caso de las superficies cumbrales por su elevación, y en el caso de las laderas, por tener una pendiente  $>7\%$  y e imposibilitar la acumulación de agua.

Los fondos de valle no solo comprenden las planicies aluviales, sino también las zonas planas o cóncavas, que contienen cursos fluviales y presentan  $<7\%$  de pendiente. En la cuenca Nexpa estas zonas generalmente se encuentran directamente relacionadas a corrientes y valles estrechos, debido a que la cuenca presenta una gran cantidad de laderas pronunciadas y escasas partes planas y bajas. En términos generales, la cuenca se compone en un 97% del área total por superficies cumbrales y laderas y en un 3% por fondos de valle, es decir zonas inundables.

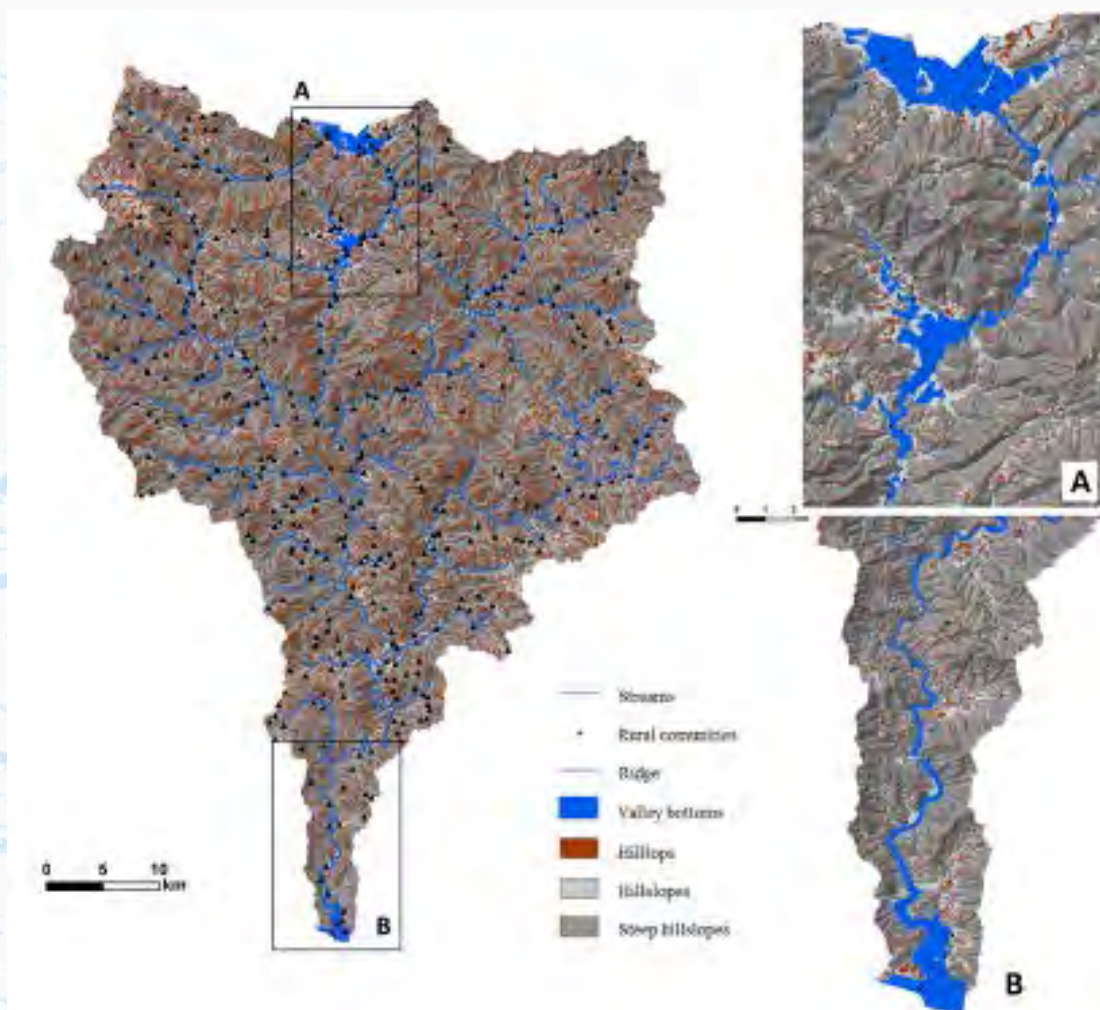


Figura 3. Zonas inundables de la cuenca Nexpa. Grandes áreas en A, en el norte, y en B, en el sur.

En la Fig. 3 se observan las tres zonas con mayor extensión ocupada por zonas inundables. Una de ellas (Fig. 3A) se encuentra en el norte de la cuenca, donde se ubica la ciudad de Aguililla, la de mayor densidad y número de habitantes de la cuenca, ocupando también asentamientos circundantes. Al sur de de la ciudad de Aguililla, en el norte de la cuenca, se encuentra otra de las zonas inundables extensas (Fig. 3A), ocupada principalmente por campos agrícolas y comunidades rurales. Y la tercera zona se localiza al sur de la cuenca, en la costa, incluyendo a la población de Nexpa y comunidades aledañas (Fig. 3B).



En la cuenca Nexpa se registran 459 localidades rurales dispersas por todo el territorio, 61 de las cuales (13% del total) se encuentran ubicadas dentro de los fondos de valle, estas zonas, delimitadas como inundables, son altamente susceptibles a las inundaciones (Fig. 4). La red de caminos y brechas tiene una longitud total de 1,438 km, de los cuales, 100 km están dentro de las zonas inundables, representando el 7% del total de las vías de comunicación (Fig. 4).

A partir del segundo método utilizado, la técnica de superposición ponderada, se obtuvo la delimitación de la susceptibilidad de la cuenca a inundarse con base en factores topográficos y no topográficos. A diferencia del primer método, que sólo contempla la topografía del terreno para determinar qué zonas serían inundables, este método contempla diversos factores ambientales y los pondera para determinar la susceptibilidad en función a ellos.

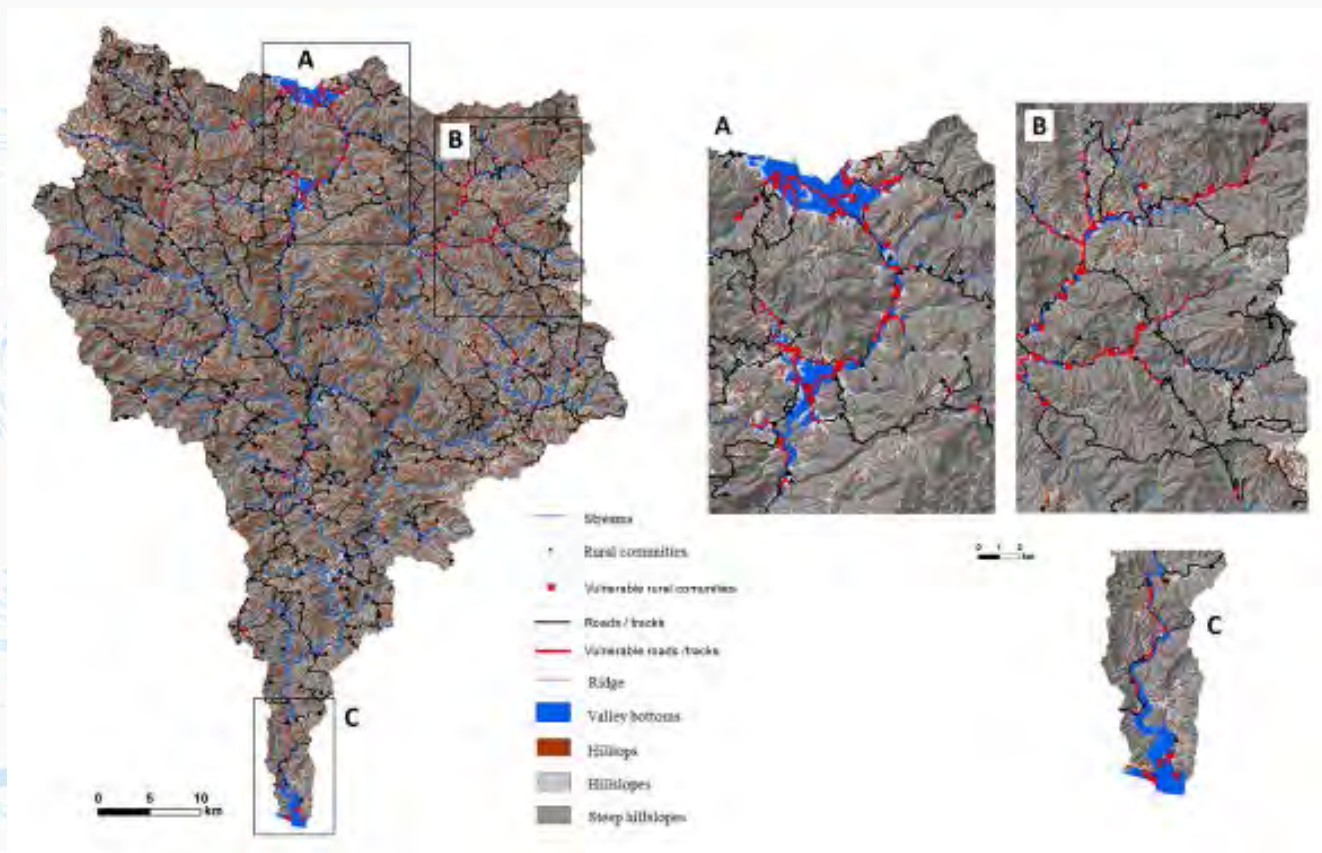


Figura 4. Localidades y caminos en zonas susceptibles de inundación.

La ponderación de los factores topográficos (Fig. 5A) muestra que las zonas con susceptibilidad media y alta corresponden en su mayoría a las zonas clasificadas como zonas inundables (fondos de valle) representando el 7% de la cuenca, y las zonas con susceptibilidad baja y muy baja coinciden con las geoformas de laderas, ocupando casi la totalidad de la cuenca, un 93%. La ponderación de los factores no topográficos (Fig. 5B) muestra que la clase media es la que ocupa mayor extensión (62% del área total de la cuenca), la clase alta ocupa un 9% del total del área y coincide en su gran mayoría con las zonas con textura de suelo fina. El resto de la cuenca muestra valores de susceptibilidad bajos (29% del área). En cambio, la ponderación tomando en cuenta todos los factores (Fig. 5C) muestra, en general, menor susceptibilidad a inundarse, con valores bajos en el 88% de la cuenca, los valores medios y altos ocupan el 12% de la cuenca, dentro de esta área se encuentran las geoformas de fondos de valle.



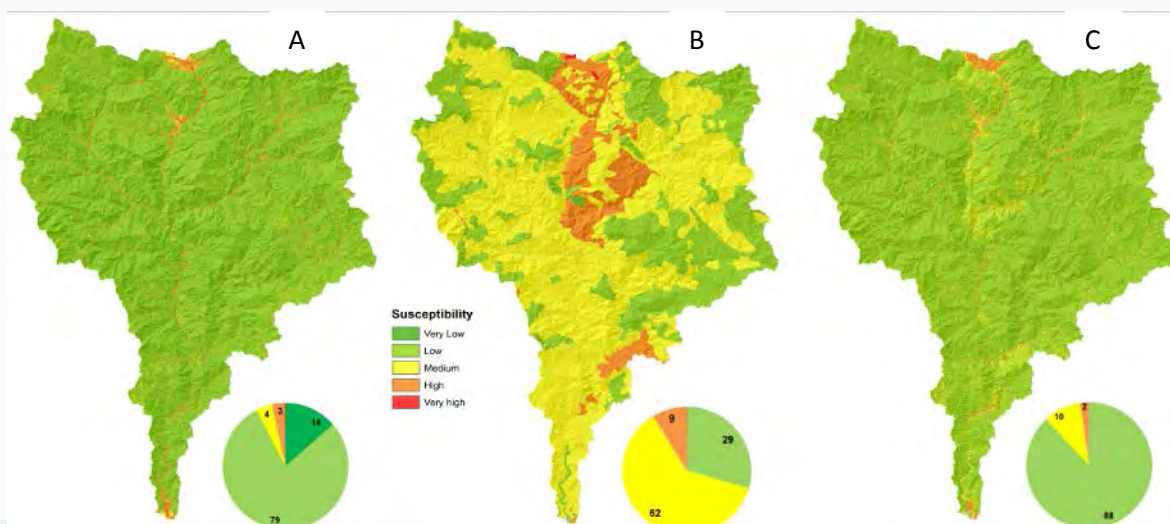


Figura 5. Susceptibilidad a la inundación según variables A) topográficas, B) no topográficas, C) todas las variables. Los círculos representan las proporciones de cada clase.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La manera más usual de mapear las inundaciones es a través de modelos, estos requieren datos de alta calidad y largos tiempos de computación, es debido a esto que en países donde no se dispone de este tipo de información, metodologías alternativas resuelven la problemática en el estudio y mapeo de inundaciones (Jha, Bloch, & Lamond, 2012). Consecuentemente, el mapeo de geformas del terreno y la superposición ponderada de factores biofísicos solventa estos contratiempos.

El carácter inundable de los fondos de valle de esta cuenca recae en su morfología plana o cóncava, pueden tener ligera pendiente, y reciben los flujos de las zonas de captación circundante. Se caracterizan por formarse sobre sedimentos aluviales con texturas medias, y cerca del nivel freático. En muchas ocasiones también están ocupados por zonas agrícolas y por asentamientos. La proporción de área ocupada por laderas demuestra el carácter altamente montañoso de la cuenca, con laderas pronunciadas y con usos de suelo forestal o de vegetación secundaria, dónde la escorrentía superficial no se acumula debido a su pendiente.

Las zonas ocupadas por asentamientos normalmente se encuentran asociadas a cursos fluviales, y a zonas planas o de ligera pendiente. Son zonas altamente productivas y con fácil acceso al recurso agua, a la vez que proporcionan un terreno apto para la construcción de viviendas. Pero son estas mismas zonas las que presentan mayor vulnerabilidad a las inundaciones, aumentando de esta forma la vulnerabilidad de la cuenca.

Los resultados del método del mapeo morfológico muestran tres zonas inundables de mayor extensión. El mapa también muestra zonas inundables de menor tamaño que afectan a comunidades rurales, a pesar del área reducida que representan, la importancia recae en el hecho de que en el caso de un evento de inundación, estas comunidades dispersas por toda la cuenca serían altamente vulnerables debido a su difícil acceso. La afectación de caminos rurales y brechas, aun representando solo el 7% del total, es destacable ya que proporciona información geográfica sobre qué comunidades se quedarían incomunicadas en casos de eventos catastróficos.

El mapeo de la susceptibilidad de inundación con base en los factores topográficos pone de manifiesto que morfológicamente las zonas con susceptibilidad alta o muy alta son reducidas. En cambio, en el mapa de los factores no topográficos, la susceptibilidad se incrementa notablemente. Y el mapeo conjunto de los factores topográficos y no topográficos aporta mejor información sobre la susceptibilidad de la cuenca. Por lo tanto, es la ponderación de los factores topográficos la que refleja que la vulnerabilidad a inundarse de la cuenca Nexpa está determinada por su carácter montañoso, con valles estrechos (Modrick & Georgakakos, 2015; Stoffel, Wyżga, & Marston, 2016). La ponderación del conjunto de factores biofísicos revela que la cuenca, a una escala regional, no muestra una susceptibilidad alta a inundarse.



La ponderación mediante factores topográficos coincide notablemente con el mapeo de zonas inundables de acuerdo con las geoformas, y por tanto las explicaciones sobre los factores que están afectando. En cambio, en la ponderación de factores no topográficos, la susceptibilidad alta se relaciona con los factores de uso de suelo arbustivo y textura de suelo fina y media. La textura influye en la capacidad de infiltración de suelo, a texturas más finas, menor es la infiltración y por lo tanto la escorrentía superficial aumenta, que aunado a precipitaciones intensas, aumenta la susceptibilidad a inundación. Los valores bajos de susceptibilidad en el mapeo de factores no topográficos se asocian a las zonas con uso de suelo forestal, que proporcionan una buena infiltración. En el mapeo conjunto de factores biofísicos, la susceptibilidad de la cuenca es media y baja, y esto se asocia a los factores de pendiente y curvatura.

Consultas hemerográficas revelan que las zonas clasificadas en este estudio como inundables y con susceptibilidad alta con base en sus factores biofísicos, han sufrido eventos catastróficos de inundación con daños relevantes en los últimos años. En el 2015, se reportaron daños a carreteras y hogares debido a las precipitaciones causadas por el huracán Patricia. En el año 2013, se registraron fuertes inundaciones en el norte de la cuenca, relacionadas a fuertes precipitaciones. En ese mismo año, con relación al huracán Manuel, se registraron fuertes afectaciones debido a inundaciones en el sur de la cuenca.

Estos registros ponen de manifiesto la vulnerabilidad de la cuenca Nexpa en particular, y de la región Sierra-Costa de Michoacán en general, no sólo debido a sus características morfológicas y factores biofísicos, sino también a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos de gran magnitud en la zona. Como mencionan Saharia *et al.* (2017), estudios en cuencas del Mediterráneo (Europa) y en la Costa Oeste de Estados Unidos demuestran que los picos unitarios de descarga de precipitación más altos se registran en las cuencas montañosas y próximas al océano.

Normalmente los estudios sobre inundaciones se basan en métodos hidrológicos y en sitios que presentan usos de suelo no adecuados a su potencial y alta densidad demográfica, que junto con una deficiente planeación territorial, desencadenan en eventos catastróficos de inundación (Douben, 2006). Este estudio aporta una fuente nueva de discusión, ya que estudia el peligro hidrometeorológico en zonas de baja densidad poblacional y con escaso desarrollo territorial, pero donde la vulnerabilidad a las inundaciones debe tenerse en cuenta debido a la remota accesibilidad de las poblaciones y a las vías de comunicación vulnerables.

El método de mapeo morfológico del terreno no solo es útil en la identificación de zonas inundables. La diferenciación geomorfológica entre superficies cumbrales, laderas escarpadas y laderas permite mejorar la planeación de los usos de suelo, lo cual disminuiría el riesgo a erosión y por lo tanto de pérdida de suelo, excelente marco en la planeación del territorio en conjunto con el mapeo del peligro a inundación, lo que conjuntamente contribuirán a limitar y mitigar las consecuencias de las inundaciones (Cunha *et al.*, 2017).

En este estudio se pone de manifiesto que el método usado demanda menos datos de entrada y es más rápido que otros métodos hidrológicos (Teng *et al.*, 2017), por lo que puede ser usado como delimitación preliminar de planicies aluviales y zonas potenciales de inundación, en situaciones donde los datos hidrológicos no están disponibles (Bathrellos, Skilodimou, Chousianitis, Youssef, & Pradhan, 2017).

El mapeo de inundaciones es indispensable para mitigar las afectaciones sociales, económicas y al ecosistema (Schumann, Bates, Neal, & Andreadis, 2015). Ya que las inundaciones causan consecuencias adversas para la salud humana, patrimonio y actividades económicas (Jacinto *et al.*, 2015), lo cual frena el desarrollo socio-económico de una región (Abuzied, Yuan, Ibrahim, Kaiser, & Saleem, 2016). En consecuencia, este estudio se perfila como complemento en la incorporación de planes de mitigación a las inundaciones y como base en la creación de alertas tempranas ante desastres ocurridos por peligros hidrometeorológicos (Cools, Innocenti, & O'Brien, 2016; Ntajal *et al.*, 2017).

El mapeo de zonas inundables y el estudio de la susceptibilidad de la cuenca Nexpa a inundaciones en relación con sus factores biofísicos, se presenta como un método consistente, que debe ser usado en el mapeo de zonas de riesgo donde no existen datos para calibrar modelos hidrológicos.



Los resultados de la metodología aplicada ponen de manifiesto que las áreas más propensas a sufrir inundaciones se observan en el norte y sur de la cuenca Nexpa, asociado a corrientes de agua y zonas alledañas, mapeadas como fondos de valle. Así mismo, en cuanto a susceptibilidad a inundaciones en relación a la ponderación de factores biofísicos, los factores más desfavorables son curvaturas cóncavas, distancia a corrientes, valores de pendiente bajos y texturas de suelo finas.

El entendimiento de la morfología y de los factores predominantes en el riesgo de inundación potencial en cuencas donde se dispone de escasa información hidrológica, es una herramienta valiosa para asistir a los tomadores de decisiones y a los planeadores del territorio en la mitigación de los peligros naturales.

Desde el punto de vista de generación de información y prevención de inundaciones, los futuros retos deben enfocarse en seguir realizando esfuerzos en el mapeo de inundaciones y la modelación de eventos de inundación, con el fin de promover la mitigación de inundaciones y la reducción de la vulnerabilidad de las zonas rurales, con el fin de diseñar alertas tempranas en comunidades rurales.

## 5. AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT; proyecto no. 247048) por una beca posdoctoral.

## 6. LITERATURA CITADA

- Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., & Saleem, T. (2016). Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt. *Journal of Arid Environments*, 133, 54–72. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.004>
- Adhikari, P., Hong, Y., Douglas, K. R., Kirschbaum, D. B., Gourley, J., Adler, R., & Robert Brakenridge, G. (2010). A digitized global flood inventory (1998–2008): compilation and preliminary results. *Natural Hazards*, 55(2), 405–422. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9537-2>
- Alcántara-Ayala, I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47, 107–124. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00083-1)
- Bathrellos, G. D., Skilodimou, H. D., Chousianitis, K., Youssef, A. M., & Pradhan, B. (2017). Suitability estimation for urban development using multi-hazard assessment map. *Science of the Total Environment*, 575, 119–134. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.025>
- Cools, J., Innocenti, D., & O'Brien, S. (2016). Lessons from flood early warning systems. *Environmental Science and Policy*, 58, 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.006>
- Costa, J. E. (1987). Hydraulics and basin morphometry of the largest flash floods in the conterminous United States. *Journal of Hydrology Elsevier Science Publishers B.V.*, 93, 313–338. Retrieved from [http://ac.els-cdn.com/0022169487901028/1-s2.0-0022169487901028-main.pdf?\\_tid=8ebae7a2-368a-11e7-ba9d-00000aab0f02&acdnat=1494535618\\_5ce1e70ffdd97f18c3efca001c22d79](http://ac.els-cdn.com/0022169487901028/1-s2.0-0022169487901028-main.pdf?_tid=8ebae7a2-368a-11e7-ba9d-00000aab0f02&acdnat=1494535618_5ce1e70ffdd97f18c3efca001c22d79)
- Cunha, N., Magalh, M., Domingos, T., Abreu, M., & Küpfer, C. (2017). The land morphology approach to flood risk mapping: An application to Portugal. *Journal of Environmental Management*, 193, 172–187. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.077>
- Douben, K.-J. (2006). Characteristics of river floods and flooding: a global overview, 1985–2003. *Irrigation and Drainage*, 55(S1), S9–S21. <https://doi.org/10.1002/ird.239>
- Ferreira Silva, S., Martinho, M., Capit, R., Reis, T., Joana Fortes, A., & Carlos Ferreira, J. (2017). An index-based method for coastal-flood risk assessment in low-lying areas (Costa de Caparica, Portugal). *Ocean & Coastal Management*, 144, 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.04.010>
- Gallina, V., Torresan, S., Critto, A., Sperotto, A., Glade, T., & Marcomini, A. (2016). A review of multi-risk methodologies for natural hazards: Consequences and challenges for a climate change impact assessment. *Journal of Environmental Management*, 168, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.011>
- Guevara Ortiz, E., Quaas Weppen, R., Fernández Villagómez, G., Zepeda Ramos, C., Martínez Bringas, A., Gómez Vázquez, A., ... Méndez Estrada, K. (2004). *Guía básica para la evaluación de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*. México: CENAPRED.
- Jacinto, R., Grosso, N., Reis, E., Dias, L., Santos, F. D., & Garrett, P. (2015). Continental Portuguese Territory



- Flood Susceptibility Index – contribution to a vulnerability index. *Natural Hazards and Earth System Science*, 15(8), 1907–1919. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1907-2015>
- Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). *Cities and flooding : a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*. World Bank.
- Kellens, W., Terpstra, T., & De Maeyer, P. (2013). Perception and Communication of Flood Risks: A Systematic Review of Empirical Research. *Risk Analysis*, 33(1), 24–49. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01844.x>
- Lewis, M. A., Cheney, C. S., & ÓDochartaigh, B. E. (2006). *Guide to Permeability Indices*. Keyworth, Nottingham.
- Mayfield, C. J. (2015). *Automating the Classification of Thematic Rasters for Weighted Overlay Analysis in GeoPlanner for ArcGIS*. University of Redland. Retrieved from [http://inspire.redlands.edu/gis\\_gradproj](http://inspire.redlands.edu/gis_gradproj)
- Modrick, T. M., & Georgakakos, K. P. (2015). The character and causes of flash flood occurrence changes in mountainous small basins of Southern California under projected climatic change. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 312–336. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.02.003>
- Ntajal, J., Lamptey, B. L., Mahamadou, I. B., & Nyarko, B. K. (2017). Flood disaster risk mapping in the Lower Mono River Basin in Togo, West Africa. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 23, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.03.015>
- Perucca, L. P., & Angilieri, Y. E. (2011). Morphometric characterization of del Molle Basin applied to the evaluation of flash floods hazard, Iglesia Department, San Juan, Argentina. *Quaternary International Journal*, 233, 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.08.007>
- Rahmati, O., Zeinivand, H., & Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(3), 1000–1017. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1045043>
- Ribera Masgrau, L. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. *Documents d'anàlisi Geogràfica*, 43, 153–171. Retrieved from <http://web2.udg.edu/aigua/material/02121573n43p153.pdf>
- Rufat, S., Tate, E., Burton, C. G., & Sayeed Maroof, A. (2015). Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14(4), 470–486. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.09.013>
- Saharia, M., Kirstetter, P.-E., Vergara, H., Gourley, J. J., & Hong, Y. (2017). Characterization of floods in the United States. *Journal of Hydrology*, 548, 524–535. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.010>
- Salas Salinas, M. A., & Jiménez Espinosa, M. (2004). *Inundaciones. Serie Fascículos*. México: CENAPRED. Retrieved from [www.cenapred.gob.mx](http://www.cenapred.gob.mx)
- Scheuer, S., Haase, D., & Meyer, V. (2013). Towards a flood risk assessment ontology - Knowledge integration into a multi-criteria risk assessment approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 37, 82–94. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.07.007>
- Schumann, G. J.-P., Bates, P. D., Neal, J. C., & Andreadis, K. M. (2015). Measuring and Mapping Flood Processes. In *Hydro-Meteorological Hazards, Risks and Disasters* (pp. 35–64). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394846-5.00002-3>
- Stoffel, M., Wyżga, B., & Marston, R. A. (2016). Floods in mountain environments: A synthesis. *Geomorphology*, 272, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.008>
- Teng, J., Jakeman, A. J., Vaze, J., Croke, B. F. W., Dutta, D., & Kim, S. (2017). Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental Modelling & Software*, 90, 201–216. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.006>
- Wenger, C., Hussey, K., & Pittock, J. (2013). *Living with floods: Key lessons from Australian flood reviews and similar reviews from the Netherlands, China and the USA*. Gold Coast. Retrieved from <http://www.floodplainconference.com/papers2013/Jamie Pittock Full Paper.pdf>

## **ID-042: EVALUACIÓN DE RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS POR INUNDACIONES Y TORMENTAS TROPICALES EN LA MICROCUENCA DE QUECHULTENANGO, GUERRERO**

Autores: Carmela Xochitla-Castrejón<sup>a</sup>, Rafael Germán Urban-Lamadrid<sup>b</sup>, Alfredo Méndez-Bahena<sup>c</sup>, Vicente Alfredo Sereno-Chávez<sup>d</sup>.

<sup>a</sup>El Colegio de la Frontera Sur, email: [xochitla95@hotmail.com](mailto:xochitla95@hotmail.com), <sup>b,c y d</sup> Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Químico Biológicas. [urban\\_a1@hotmail.com](mailto:urban_a1@hotmail.com), [amendezbahena@gmail.com](mailto:amendezbahena@gmail.com), [hincheni@gmail.com](mailto:hincheni@gmail.com)

### **RESUMEN**

La microcuenca de Quechultenango se ubica en la vertiente interior de la Sierra Madre del Sur, en la región centro del estado de Guerrero. Forma parte del sistema regional Huacapa-Río Azul, tiene una extensión de 175 km<sup>2</sup>. Este estudio y otros de naturaleza similar conforman un amplio programa de investigación de riesgos, con el enfoque de cuencas a nivel regional y semiregional en el estado.

El análisis y posterior evaluación, se realizó por medio de SIG, empleando Ilwis 3.3 y Arc View 3.2. Para el modelaje se utilizaron diversos métodos; en la zonificación de áreas susceptibles a inundación se realizaron mapas booleanos y de buffers, indicando rangos en metros de distancias a partir de cauces principales y perfiles topográficos para estimar el caudal máximo inundable (área hidráulica). El cálculo de tormentas tropicales se hizo con base a la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos de CENAPRED, utilizando isoyetas con diferentes periodos de retorno. Los datos de la caracterización social y económica se obtuvieron de CONAPO utilizando el Índice de Marginación (IM).

Los mapas de áreas susceptibles a inundaciones muestran que las localidades propensas a sufrir afectaciones son: Quechultenango, Coscamila, Santa Fe y Jalapa, que se encuentran ubicadas en valles y planicie aluvial. Esto lleva a un escenario en el que alrededor de 5,000 habitantes (41% de la población total de la microcuenca) podrían verse afectados por inundaciones.

Con los datos obtenidos en el cálculo de tormentas tropicales, se estimó que el cauce del río Limpio tiene un área hidráulica insuficiente para un evento de tormenta con periodo de retorno de 10 años, en donde la intensidad de precipitación sea de 54.37 mm/h.

La caracterización de aspectos socioeconómicos mostro que, un 17.5 % de la población se encuentra en el segmento de mayor vulnerabilidad ante posibles riesgos, ya que el municipio (Quechultenango) muestra serias deficiencias en cuanto a educación, vivienda e ingresos económicos, lo cual repercute en la respuesta y la resiliencia de la población ante los desastres naturales.

**Palabras clave:** Inundaciones, tormentas tropicales, vulnerabilidad



## 1 INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la situación ambiental actual, el papel del hombre como parte del entorno natural y como principal agente modificador; son cuestionamientos cada vez más preocupantes debido a la creciente degradación del ambiente y sus consecuencias sobre la calidad de vida de la población. Dentro de esta problemática surge la inquietud de profundizar en el conocimiento de las perturbaciones de origen natural; por otra parte, algunas de éstas se ven alteradas de una manera más notoria por la participación humana; estas perturbaciones se analizan bajo dos variables: como parte del funcionamiento de los paisajes naturales y como agentes modificadores del orden establecido por los grupos humanos. (Palacio, 1995).

Cada año diferentes regiones del planeta son afectadas por algún tipo de catástrofe y/o desastre natural. La acción de terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, huracanes, deslizamientos; han cobrado la vida de millones de personas, afectando su medio socioeconómico y generando un retroceso en sus condiciones de vida (Vilches, 2011).

En este trabajo primero se abordan los conceptos básicos relacionados con riesgos naturales. Del mismo modo, se realiza un recorrido por las principales contribuciones relacionadas al estudio de los riesgos. En seguida se presentan los modelos conceptuales disponibles en la literatura para abordar un estudio evaluativo de riesgos hidrometeorológicos y geomorfológicos.

Todo lo mencionado son insumos para generar un estudio de caso en el sector Quechultenango-Santa Fe; dentro de la subcuenca del río Huacapa-río Azul. El interés por la zona se origina en la escasez de estudios en dicha área, a pesar de que en los últimos años se han registrado fenómenos naturales extremos, principalmente inundaciones, los cuales han afectado en el ámbito socioeconómico a la población, sin dejar de lado las alteraciones e impactos al ambiente. Por ello es de suma importancia contar con información básica y precisa para el análisis y evaluación de riesgos hidrometeorológicos y geomorfológicos que se pueden producir y causar daños a las poblaciones, e identificar las zonas más vulnerables.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La microcuenca de Quechultenango está ubicada en la vertiente interior de la Sierra Madre del Sur, comprende el sector Quechultenango-Santa Fe, se han seleccionado los cauces principales de la margen derecha del río Azul que desembocan en las cercanías de Quechultenango. La microcuenca pertenece a la Región Hidrográfica 20 (RH20) Costa Chica-río Verde, cuenca río Papagayo, y a la subcuenca Río Omitlán.

El sitio de interés es la confluencia del río Limpio con el río Huacapa se seleccionó debido a que ha presentado eventos de inundación y rasgos de deslizamientos, así como de hundimientos en las zonas kársticas, los límites son fisiográficos marcados por los parteaguas circundantes.

Tiene una extensión de 17,545.62 ha. Dentro del área de estudio se ubican 14 localidades: Quechultenango, Aztatepec, Coscamila, Jalapa, Naranjitas, El Naranjo, Ostocapa, Las Palmitas, Santa Cruz, Santa Fe, Tolixtlahuaca, Cuadrilla Nueva, La Mina, Buenavista. Con una población total de 11 969 habitantes.

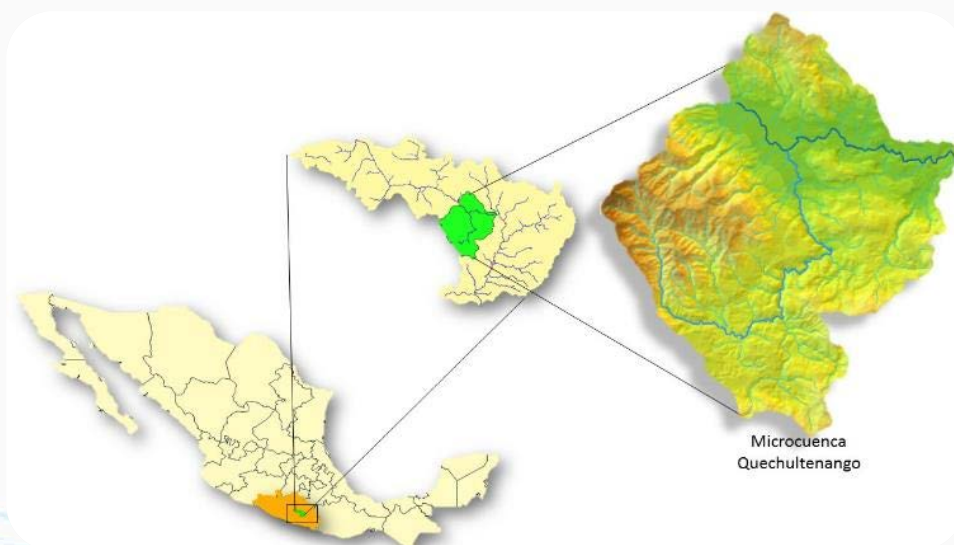


Figura 1. Localización de la microcuenca Quechultenango

El análisis y posterior evaluación, se realizó por medio de SIG, empleando Ilwis 3.3 y Arc View 3.2. Para el modelaje se utilizaron diversos métodos; en la zonificación de áreas susceptibles a inundación se realizaron mapas booleanos y de buffers, indicando rangos en metros de distancias a partir de cauces principales y perfiles topográficos para estimar el caudal máximo inundable (área hidráulica). El cálculo de tormentas tropicales se hizo con base a la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos de CENAPRED, utilizando isoyetas con diferentes periodos de retorno. Los datos de la caracterización social y económica se obtuvieron de CONAPO utilizando el Índice de Marginación (IM).

### 3 RESULTADOS

#### ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

Cuadro 1: Aspectos demográficos. Se presentan los datos referidos a la población total de cada una de las localidades, así como la población potencialmente vulnerable por razones etarias.

Localidad	Población Total	Población de 0-2 años	Población de 60 años y más	Población Vulnerable (%)
1. Quechultenango	5720	341	695	18.1
2. Aztatepec	990	78	74	15.4
3. Coscamila	643	48	61	17.0
4. Jalapa	462	20	62	17.7
5. Naranjitas	433	24	37	14.1
6. El Naranjo	165	7	28	21.2
7. Ostocapa	694	72	55	18.3
8. Las Palmitas	124	10	12	17.7
9. Santa Cruz	711	37	105	20.0
10. Santa Fe	994	73	80	15.4
11. Tolixtlahuaca	492	32	77	22.2



<b>12. Cuadrilla Nueva</b>	111	4	9	11.7
<b>13. La Mina</b>	94	4	7	11.7
<b>14. Buenavista</b>	336	30	17	14.0
<b>Total</b>	11969	780	1319	17.5

Fuente: INEGI 2010

El cuadro 1 muestra los segmentos de población considerados en este caso como más vulnerable: 0-2 años y más de 60 años. Como se puede apreciar, el promedio para la zona de estudio es que un 17.5% de la población que se encuentra en el segmento de mayor vulnerabilidad ante posibles fenómenos naturales.

## RIESGO POR TORMENTAS TROPICALES

### Gasto líquido

El gasto líquido es el volumen de agua que pasa por una sección en un cierto tiempo. Para determinar este escurrimiento se utilizó la formula racional (CENAPRED, 2006). En el cuadro 2 se muestran los valores de lámina de lluvia para los diferentes periodos de retorno. En el siguiente cuadro se muestran los valores obtenidos de lámina de lluvia para cada periodo de retorno y el gasto líquido calculado para el cauce principal. Con base a esto podemos determinar la concentración de lluvia que se puede acumular en un sitio determinado.

**Cuadro 2.** Láminas de lluvia y gasto liquido del cauce principal.  $t_r$ = Periodos de retorno;  $t_c$ = Tiempo de concentración;  $i$ = intensidad de precipitación;  $Q_p$ = Gasto líquido.

Láminas de lluvia				Gasto liquido principal	Cauce principal
tr (años)	Duración				
	24 h	1 h	d=tc		
	hp(mm)	hp(mm)	hp(mm)	i (mm/h)	Qp (m3/s)
2	100	40	54	24.88	236.95
5	140	68	85	39.17	277.88
10	175	100	118	54.37	517.8
25	240	120	149	68.66	653.89
50	275	140	172	79.26	754.85
100	340	150	196	90.32	860.18
250	400	170	226	104.14	991.8
500	500	175	254	117.05	1114.75

Se calculó el área hidráulica permisible, que es el área necesaria para que el flujo de escurrimiento expresado como el gasto máximo o de pico, fluya por una sección de un arroyo sin presentar desbordamiento en sus márgenes.

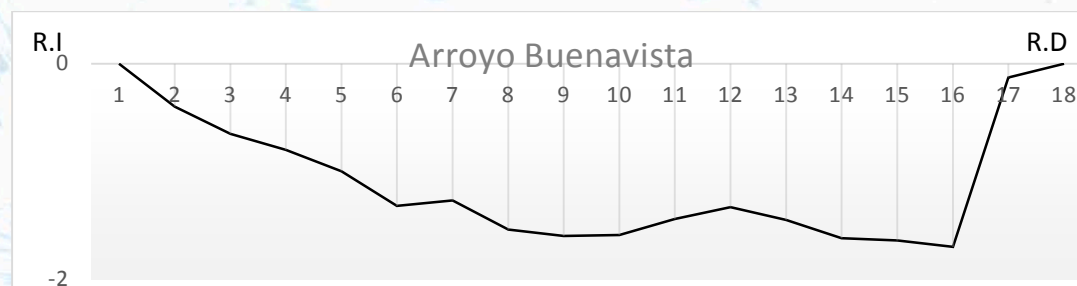
En el siguiente cuadro se muestran los valores de las áreas hidráulicas para los diferentes periodos de retorno considerados.

**Cuadro 3.** Área hidráulica permisible.  $T_r$ = Periodos de retorno;  $A_p$ = área hidráulica requerida.

Cuadro 8. Área hidráulica permisible	
Tr años	Ap.(m2)
2	78.98
5	92.62
10	172.6
25	217.96
50	251.6
100	286.72
250	330.6
500	371.58

Por otra parte, el trabajo de campo permitió obtener datos de la geometría de los cauces, que de una manera directa proporcionan indicios de la eficiencia del cauce para desalojar un caudal.

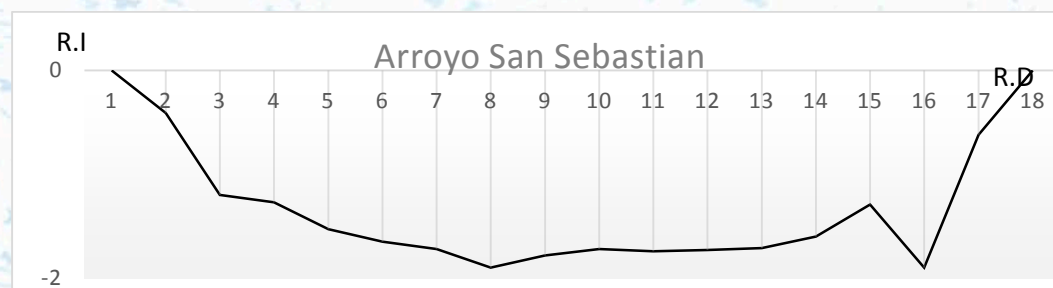
Una vez calculada el área hidráulica requerida para cada periodo de retorno se comparó con los perfiles topográficos transversales de los cauces de los arroyos y ríos de la microcuenca en donde se obtuvieron los siguientes perfiles (figuras 2, 3 y 4). Existe la convención de que los bordes o riberas se denominan en relación al flujo de la corriente hacia abajo y por tanto se le denomina ribera izquierda (R.I) y ribera derecha (R.D).



Área hidráulica: 19.48 m<sup>2</sup>

8.7 m de ancho

**Figura 2.** Perfil topográfico transversal del arroyo Buenavista. Los perfiles muestran profundidades y ancho del cauce, en este caso se muestra en el borde izquierdo material más resistente y pequeñas pozas.

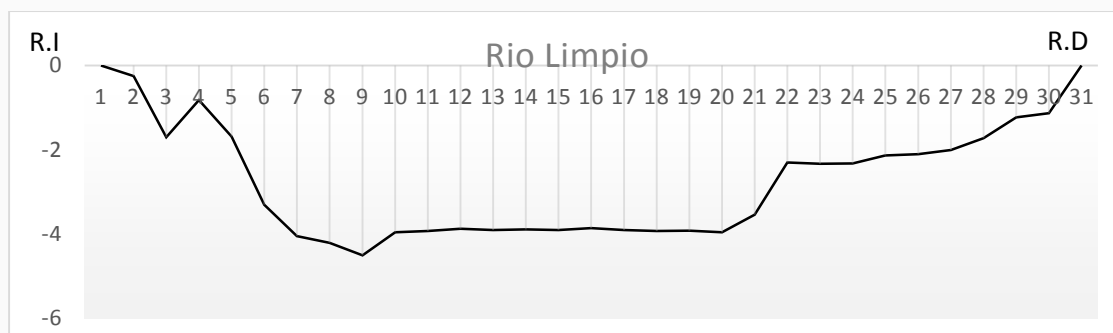


Área hidráulica: 29.71 m<sup>2</sup>

8.28 m de ancho

**Figura 3.** Perfil topográfico transversal arroyo San Sebastián. El perfil topográfico del arroyo San Sebastián muestra que en el extremo izquierdo el material es más consolidado a diferencia del extremo derecho.





**Área hidráulica:** 126.34 m<sup>2</sup>

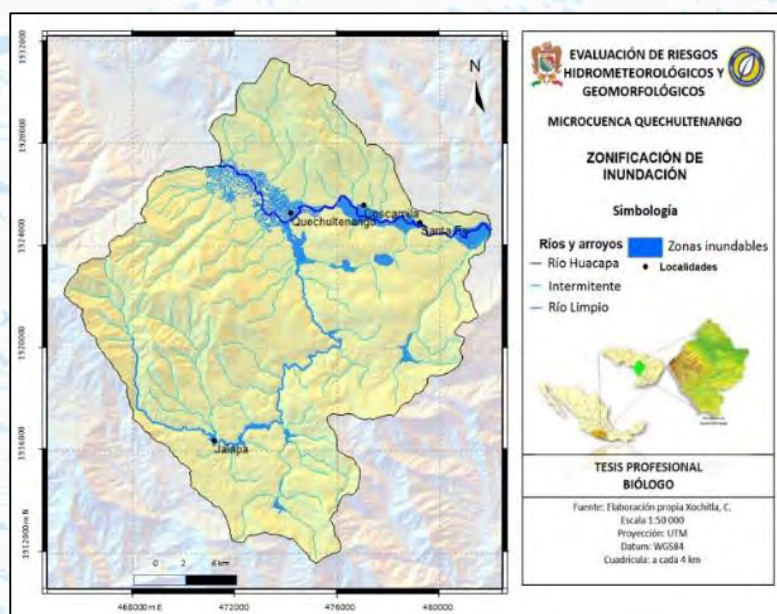
36.8 m de ancho

**Figura 4.** Perfil topográfico transversal Río Limpio. En el río limpio los perfiles topográficos muestran planicie y terraza

Los resultados asociados a los riesgos por tormentas arrojan que el cauce principal (río limpio) tiene capacidad para tormentas de menos de 10 años. Es decir, resulta insuficiente ya que cuenta con un área hidráulica de 126 m<sup>2</sup>, comparada con el área que requiere una tormenta de 10 años la cual requiere un área de 172.6 m<sup>2</sup>. Por tanto, es de esperarse que se registren eventos de desborde en la ribera derecha en donde existen asentamientos humanos. No obstante, cabe mencionar que el periodo de retorno es un cálculo probabilístico, por lo que no es necesario esperar 50 años para que se produzca una inundación extraordinaria, pues siempre existe la posibilidad de que en un intervalo de tiempo menor pueda ocurrir un evento de tal magnitud. El arroyo San Sebastián ha registrado recientemente (2016) desbordamientos que han modificado el cauce del arroyo, por ello en la verificación de campo se midió el perfil topográfico y de esta forma se obtuvo el área hidráulica de 29.71 m<sup>2</sup> si se compara con una tormenta con periodo de retorno de 2 años resulta tres veces inferior en magnitud ya que esta requiere un área hidráulica de 78 m<sup>2</sup>.

## ZONIFICACIÓN DE ÁREAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES

Con la idea de analizar desde otra perspectiva la susceptibilidad a inundaciones, se realizó la zonificación con base a la lógica booleana (figura 21). En donde las geoformas de planicie aluvial y valles son las más susceptibles, esto también ligado a la pendiente de dichas zonas que es menor a 3°.



**Figura 5.** Mapa de zonificación de inundaciones.

En cuanto a esta zonificación basada en las geoformas y pendientes, las localidades afectadas serían Quechultenango que se encuentra asentada en la planicie aluvial, hacia el Este Coscamila y Santa Fe, Jalapa hacia el Sur de la microcuenca. Como se puede observar en el mapa de la figura 21, la mayoría de los asentamientos humanos se encuentran en planicies lo cual las hace susceptibles a sufrir inundaciones. Cabe señalar que Quechultenango se encuentra sobre el cauce del río Huacapa en el cual desemboca el río Limpio, además de otros arroyos por ello aumenta el riesgo por inundaciones en dicha localidad.

## ZONIFICACIÓN DE ÁREAS DE IMPACTO POR INUNDACIÓN

Los buffers indican las áreas en riesgo de inundación ya que se localizan en las cercanías de los principales afluentes. El riesgo por inundaciones es generado cuando grupos humanos se desarrollan en sitios naturalmente susceptibles a ser inundados, especialmente en las llanuras de inundación (Garnica y Alcántara, 2004).

En el siguiente mapa (figura 6) se muestran las áreas de la zona urbana de la localidad de Quechultenango que se verían afectadas a partir de una crecida determinada con un cierto periodo de retorno.

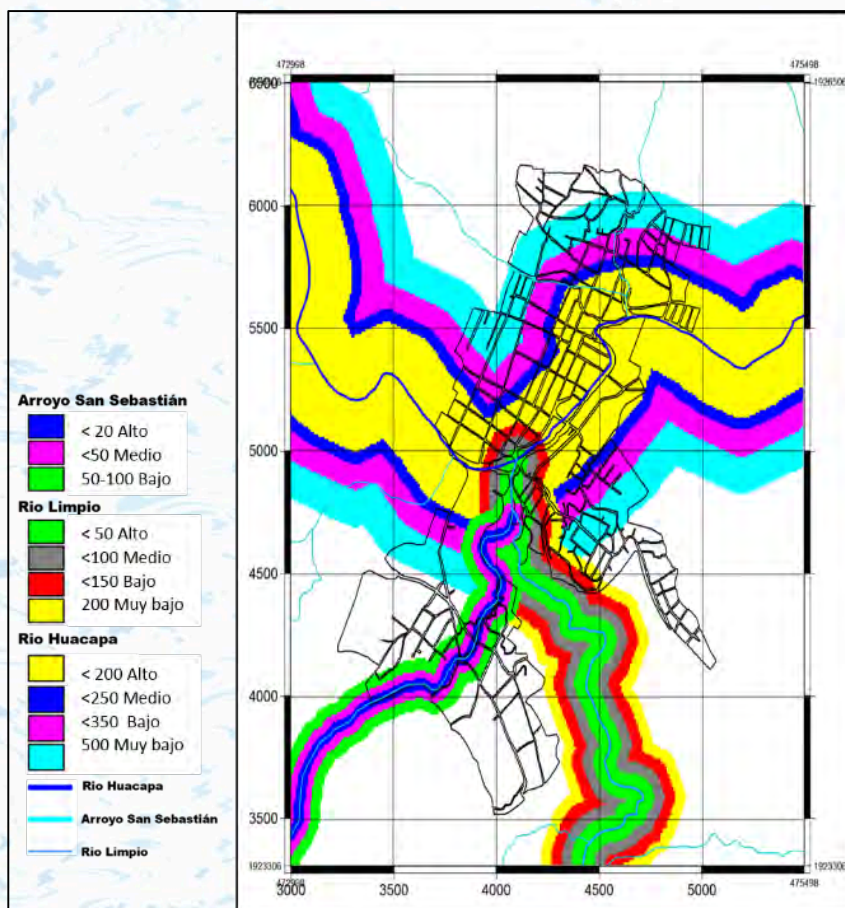


Figura 6. Mapa de zonificación de inundaciones con franjas buffer.

Para cada uno de los cauces se utilizaron rangos diferentes de distancia en metros, dependiendo de la capacidad de concentración que puede manifestarse en cada periodo de retorno donde a partir del análisis de estos buffers de distancia se encuentra que para la geoforma de planicie aluvial el número de habitantes aproximadamente que se verían afectados son 3,000. Por tanto, es una zona de riesgo alto y riesgo medio a posible inundación.



La creciente del cauce principal (río Limpio) y del río Huacapa sería catastrófica para la localidad de Quechultenango gran parte de la zona urbana se encuentra en la franja de 100 m donde una creciente provocada por una intensidad de precipitación de 54.37 mm/h provocaría daños severos sobre estos asentamientos. De acuerdo con los antecedentes presentados la localidad de Quechultenango ha sufrido afectaciones por inundaciones en años anteriores.

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Los mapas de áreas susceptibles a inundaciones muestran que las localidades propensas a sufrir afectaciones son: Quechultenango, Coscamila, Santa Fe y Jalapa, que se encuentran ubicadas en valles y planicie aluvial. Esto lleva a un escenario en el que alrededor de 5,000 habitantes (41% de la población total de la microcuenca) podrían verse afectados por inundaciones. Con los datos obtenidos en el cálculo de tormentas tropicales, se estimó que el cauce del río Limpio tiene un área hidráulica insuficiente para un evento de tormenta con periodo de retorno de 10 años, en donde la intensidad de precipitación sea de 54.37 mm/h.

La caracterización de aspectos socioeconómicos mostro que, un 17.5 % de la población se encuentra en el segmento de mayor vulnerabilidad ante posibles riesgos, ya que el municipio (Quechultenango) muestra serias deficiencias en cuanto a educación, vivienda e ingresos económicos, lo cual repercute en la respuesta y la resiliencia de la población ante los desastres naturales.

La educación ambiental es primordial ya que es un factor que aumenta la resiliencia de la población. Las actividades humanas modifican la estructura de la microcuenca lo cual puede afectar considerablemente a los procesos de los ríos, entre ellos la magnitud y la frecuencia de las inundaciones. Por ejemplo, los cambios en el uso del suelo, especialmente la urbanización que ha aumentado la cantidad de población sujeta a riesgo de inundación.

La manera de minimizar este riesgo es evitar que siga avanzando la construcción de viviendas dentro de una franja de 200 m a ambos lados del cauce del río Huacapa, de 50 m del cauce del río Limpio y 20 m del arroyo San Sebastián. Con los mapas de zonificación de áreas susceptibles se puede tener un panorama más claro sobre las zonas de mayor peligro, por ende, se deberían de evaluar con anticipación las solicitudes para nuevas construcciones lo ideal sería no aceptarlas debido al alto riesgo de inundación, ya que el número de viviendas nuevas construidas aumenta el número de personas amenazadas por dichos eventos. Es de suma importancia que la población en conjunto con los organismos gubernamentales conozca y comprendan los efectos que trae consigo una inundación y sus riesgos.

#### **6. LITERATURA CITADA**

CENAPRED, 2006. Conceptos Básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica. Primera ed. México D.F.: s.n.

CENAPRED, 2006. Guía Básica Para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligro y Riesgo. Fenómenos Hidrometeorológicos.

Cotler, H. Á. y otros, 2013. CUENCAS HIDROGRAFICAS: Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. SEMARNAT, pp. 10-12.

De La Peña, G. K. A. & Santiago, A. H., 2012. Evaluación de multiamenazas provocadas por erosión hídrica, inundaciones y deslizamientos en la cuenca San Luis Acatlán-Marquelia, Guerrero. Tesis de Licenciatura. ed. México (Guerrero): Universidad Autónoma de Guerrero.

Maskrey, A., 1998. Navegando entre brumas. Perú: LA RED.

Urbán, L. R. G., Rosales Gómez, J., Uribe Luna, J. & Nava Sánchez, E. H., 2004. Guía Metodológica para la Elaboración de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudad. México. D.F.: Programa HABITAT SEDESOL-COREMI.

Ibáñez, A. S., Moreno Ramón, H. & Gisbert Blanquer, J. M., 2008. Morfología de las cuencas hidrográficas. Universidad Politécnica de Venecia.

Palacio Prieto, J. L., López Blanco, J. & Ortiz Pérez, M. A., 1991. Zonificación de magnitudes de tormentas máximas probables (en 24 horas) para periodos de retorno de 2 a 1000 años usando Sistemas de Información Geográfica: El caso de la República Mexicana. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.

Salmerón, R. G., 2007. Atlas de Inundaciones Históricas en el Estado de Guerrero. Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad Académica de Ingeniería, p. 437.

SENARNAT, 1998. Plan rector para el desarrollo sustentable de la cuenca rio huaca- rio azul, del circuito ecoturístico, Guerrero. IMTA, Enero.

Torres, C. & Muñoz, A., 2011. Diagnóstico Ambiental del Circuito Turístico Rio Azul, municipio de Quechultenango, Guerrero. Universidad Autónoma de Guerrero.

Toscana, A. A., 2003. Paulina, la configuración de un desastre. UNAM, Facultad de filosofía y letras, División de estudio de posgrado.

Base de Datos:

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI, 2010).

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2006).

Consejo Nacional de Población (CONAPO).



# **ID-063: LA VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PORCIÓN COSTERA DE LA SUBREGIÓN HIDROLÓGICA TONALÁ-COATZACOALCOS**

Jorge Fernando Cervantes Borja<sup>a</sup>, Rosalía Gómez Uzeta<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Posgrado Urbanismo. FA UNAM, Unidad de Posgrado, Edificio J, PB J005, email: jorfer@unam.mx

<sup>b</sup> Posgrado economía. FES Aragón. UNAM, Av. Hacienda de Rancho Seco S/N, Impulsora Popular Avícola, Nezahualcóyotl email: rguzeta@yahoo.com.mx

## **RESUMEN**

En 2015, la subregión hidrológica Tonalá-Coatzacoalcos fue el área piloto para el ejercicio de “Adaptación en humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático”, como una iniciativa de cooperación internacional del Fondo para el Medio Ambiente Mundial a través del Instituto Nacional de Cambio Climático, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Banco Mundial. Para ello se elaboró la evaluación del ordenamiento ecológico territorial a nivel regional con enfoque de adaptación al cambio climático en la zona que pertenece el humedal denominado Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona en Tabasco.

En este estudio, se definieron los niveles de vulnerabilidad territorial ante eventos hidrometeorológicos extremos actuales y ante los esperados derivados de los escenarios de cambio climático al año 2050; reconociendo a la vulnerabilidad como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos de la variabilidad climática y de eventos extremos meteorológicos en el territorio.

Como resultados se definieron 9 patrones climáticos vinculados con el factor temperatura y precipitación ante los escenarios de cambio climático esperados (Incremento de la temperatura media en 2°C, incremento de la temperatura máxima entre 21-41°C, incremento leve en la precipitación de 2000 a 2500 mm, umbral de humedad mayor a 0.016%, etc). Asimismo, se reconoció la existencia de 4 eventos extremos y los impactos que posiblemente se derivaran en el futuro (Incremento del nivel del mar 0.5 m, frecuencia de tormentas por nortes, de la temperatura en 2°C y de lluvias derivadas por eventos extremos).

Asimismo, se calculó la vulnerabilidad ambiental, social y económica a través de las dimensiones exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa bajo un enfoque territorial; donde se definió el 34% del área de estudio podría presentar impactos a futuro vinculados a eventos extremos propiciados por el cambio climático; mientras que 10 localidades urbanas y 244 rurales serán altamente vulnerables ante el cambio climático. En el marco económico 4 actividades agrícolas (cultivo de maíz, frijol, cacao y azúcar), una ganadera (Ganado cebú) y una acuícola (cultivo de ostras) incrementarían su vulnerabilidad ante el cambio en los umbrales de temperatura, precipitación, humedad y salinidad debido al cambio climático.

**Palabras clave:** Cambio climático, amenaza y anomalía climática.

## **1 INTRODUCCIÓN**

El Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona se encuentra delimitado desde una perspectiva hidrológica por porciones de las Regiones Hidrológicas 29 Coatzacoalcos y 30 Grijalva-Usumacinta (Figura 1), regiones que determinan los patrones del agua prevalecientes en los territorios político administrativos incluidos en los municipios de Cárdenas, Paraíso y Comalcalco, los cuales incluyen la superficie correspondiente al Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona hasta la laguna de Mecoacán, así como a 5 cuerpos lagunares asociados a este sistema: Laguna La Redonda, La Palma, Macuitis, La Encerrada y Arrastradero. Además de incluir el área de estudio otras 3 lagunas principales, Lagunas Tres Palmas, Puente del Ostión y Las Flores, así como con 6 lagunas menores, Tupilco, La Encerrada o Amatillo, El Zorro, Lagartera, Tilapa y el Eslabón.

Hidrológicamente esta zona de estudio comprende 5 subcuencas de la Región Hidrológica 29 Coatzacoalcos: L. Laguna del Carmen y Machona, Río Santa Ana, Río Tancochapa Bajo, Río Tancochapa Alto y Río Tonalá; mientras que en el caso de la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta, la zona de estudio comprende 2 subcuencas: Río Carrizal y Río Cuxcuchapa (Figura 1). Asimismo, el sistema de ríos que incluye 5 ríos Puerto Escondido, Naranjeño, San Felipe, Santa Ana y Matacaballo; así como dos tramos de los ríos Mezcalapa y Samaria.



[illegible]

En lo particular, el Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona, comprende una superficie aproximada de 6,500 hectáreas, definido por ser un sistema estuarino-lagunar comprendido por dos cuerpos de agua El Carmen y La Machona, unidos por un canal denominado El Pajonal. Este sistema lagunar se encuentra separado del mar por una barra costera de aproximadamente 30 km de longitud presentando un ancho entre 300 y 1,000 m, comunicándose al Golfo de México por la boca natural situada al noroeste de la laguna El Carmen denominada boca de Santa Ana; así como por una boca artificial situada al noreste de la laguna La Machona llamada boca de Panteones. Los ríos vinculados a este sistema lagunar, se relacionan por el margen oeste de la laguna El Carmen la desembocadura del río Naranjeño; mientras que al oeste de la laguna La Machona desemboca el río Arenal, mientras que al este de esta laguna desemboca el río Santa Ana.

Ya entre los años de 1999 a 2009 los registros de fenómenos meteorológicos ocasionados por los huracanes Juliette, Kenna, Isidoro, entre otros; se ocasionaron pérdidas económicas por más de 574 millones de dólares, lo



que determinó por parte de las autoridades gubernamentales, la realización de estudios pertinentes para realizar obras que permitieran un mejor y mayor control de las corrientes hidrológicas del estado.

Bajo estas condicionantes, es que desde 2005, se han realizado estudios en el Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona, que han enmarcado esquemas de adaptación para fortalecer la capacidad de recuperación de los humedales costeros del Golfo de México al cambio climático, particularmente el proyecto “Sistema de monitoreo de los manglares de México (SMMM)” realizado por CONABIO desde 2005, ha generado sobre coberturas del suelo de las áreas circundantes al manglar y el cálculo de índices que permiten monitorear su cobertura y sus tendencias espacio-temporales (índices de fragmentación y conectividad).

Para 2010 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología, A.C. y Texas Sea Grant Program publicaron el estudio “Impactos del cambio climático sobre la zona costera”, donde se concluye para el sistema lagunar que el impacto del cambio climático se ha producido por patrones atípicos de lluvias y sequías, inundaciones severas, emisión de gases de efecto invernadero, ascenso de la temperatura y del nivel del mar, frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos como tormentas, huracanes, o ciclones, que ya están generando declinación de la agricultura en tierras bajas, incertidumbre pesquera, vaivenes del turismo costero, afectación al bienestar y la seguridad en las ciudades, preocupación de las industrias, erosión de playas, etc.

Recientemente bajo este contexto, es que el Instituto Nacional de Cambio Climático y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua a través de Geoecosistemas SA de CV en 2016, integraron un estudio piloto sobre el Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) como un instrumento de política ambiental, donde se buscó evaluar su metodología bajo los esquemas que el análisis del fenómeno de cambio climático implicarían en su adecuación; buscando con ello definir Áreas de Atención Prioritaria, definidas como aquellas regiones en las que existen, o al menos potencialmente, conflictos ambientales o limitaciones a las actividades humanas generadas por los posibles efectos negativos que los impactos derivados de eventos meteorológicos extremos se manifiestan actualmente en el Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona y los que a futuro pudieran derivarse de los impactos negativos que los eventos del cambio climático pudiesen generar, para con ello, adaptar los socioecosistemas minimizando los efectos negativos que a futuro podrían afectar el sistema lagunar. Derivado de este estudio se realizaron aportaciones teórico-metodológicas para el cálculo de la vulnerabilidad del territorio correspondiente al Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona, en términos de los efectos que la variabilidad climática actual expresada en eventos extremos hidrometeorológicos ocasiona en este territorio, y de los eventos extremos futuros que se pudiesen manifestarse derivados de los cambios en la temperatura y precipitación por la expresión del cambio climático.

Es este contexto, que el presente estudio busca contribuir con las aportaciones de tipo metodológico sobre la inclusión de la vulnerabilidad territorial ante el cambio climático en el procedimiento metodológico del ordenamiento ecológico territorial (OET), aplicado bajo una óptica hidrológica teniendo como caso la Subregión hidrológica Tonalá-Coatzacoalcos a la que pertenece el Humedal denominado Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona, siendo necesario entender que elementos deben ser considerados para cada fase de la estructuración del OET respondiendo entre otras preguntas a:

- ¿Cuáles son las condiciones del clima actual y su variabilidad?
- ¿Cuál es la condición histórica de eventos extremos y los peligros hidrometeorológicos vinculados a fenómenos climáticos que se encuentran evidenciados en el territorio de estudio y sus consecuencias?
- ¿A qué se es vulnerable?, ¿Dónde se es vulnerable?
- ¿Qué impactos ocurren u ocurrirán a futuro en el territorio ante los peligros y amenazas derivadas de la variabilidad climática actual y del cambio climático a futuro?

## **2 MÉTODOS**

De acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA última reforma 2018), el Ordenamiento ecológico es un 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; mientras que el Reglamento de la LGEEPA en materia de Ordenamiento Ecológico (ROE), plantea que al menos deberá integrarse por 6 fases incluyendo:

- La determinación del área o región a ordenar, describiendo sus atributos físicos, bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales y las tecnologías utilizadas por los habitantes del área
- La determinación de los criterios de regulación ecológica para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que se localicen en la región de que se trate, así como para la realización de actividades productivas y la ubicación de asentamientos humanos
- Los lineamientos para su ejecución, evaluación, seguimiento y modificación.
- La integración del modelo de ordenamiento ecológico como la representación de las unidades de gestión ambiental (UGA) en un sistema de información geográfica (mapas digitales, bases de datos y metadatos), y sus respectivos lineamientos ecológicos (meta ambiental), así como de las estrategias ecológicas son el resultado de la integración de los objetivos específicos, las acciones, los proyectos, los programas y los responsables de su realización dirigidas al logro de los lineamientos ecológicos aplicables en el área de estudio.

En otro contexto, considerando lo establecido en el Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018, la vulnerabilidad no sólo depende de las condiciones climáticas y no climáticas adversas, sino también de la capacidad de la sociedad de anticiparse, enfrentar, resistir y recuperarse de un determinado impacto. Por lo que, la vulnerabilidad ambiental y de una sociedad se encuentra determinada por su grado de exposición a los eventos climáticos y otros claves, por su sensibilidad al cambio, así como a su capacidad de respuesta institucional y social.

Es así que, bajo el contexto de un clima cambiante y la posibilidad de riesgos climáticos extremos en aumento, aunados a una condición de vulnerabilidad del territorio vinculada a eventos extremos no climáticos; se hace necesario definir la condición de vulnerabilidad a la que se ven expuestos los ecosistemas, la sociedad y las actividades productivas; buscando con ello, prevenir factores detonantes o reducir la vulnerabilidad, implicando el incremento de las capacidades de adaptación, la resiliencia o inclusive la transformación de los ecosistemas, de la sociedad y de las actividades productivas; implicando la recuperación de los servicios ambientales, la modificación y diversificación de las prácticas productivas y la sustentabilidad buscando la generación de ganancias en el marco de un enfoque equilibrado.

En este contexto es que el cálculo de la vulnerabilidad considerando los lineamientos planteados por el United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007), parte de una definición donde la vulnerabilidad se reconoce como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos de la variabilidad climática y de eventos extremos meteorológicos y otros claves en el territorio. Bajo esta condición la vulnerabilidad dependerá del carácter y magnitud de los eventos extremos a que esté expuesto un sistema, así como de la sensibilidad y capacidad de adaptación del sistema, condiciones que definen 3 dimensiones de la vulnerabilidad, las cuales bajo el marco del OET se aplicaran en el contexto de los subsistemas de análisis: ambiental, social –rural y urbano- y económico, reconociendo su definición bajo como:

- Exposición del sistema: se relaciona con el estrés climático o por otra condición en una unidad de análisis (territorio), considerando los eventos extremos, peligros, amenazas, dirección y grado de cambio en las variables climáticas u otras. Incluyendo cambios en su magnitud y frecuencia. Se considerarán las variables las ecosistémicas, de problemática ambiental, sociales, de percepción social y económicas.
- Sensibilidad: grado de respuesta del sistema, en el cual el sistema puede ser potencialmente modificado por un disturbio derivado de los peligros expresado por eventos extremos, implicando que las condiciones humanas y ambientales puedan mejorar o empeorar los impactos. Considerando como variables ambiental, social -urbana y rural-, salud y productiva.



- Capacidad adaptativa: describe la habilidad del sistema para adaptarse a las condiciones cambiantes derivadas de eventos extremos. Es la habilidad del sistema para cambiar las circunstancias a condiciones menos vulnerables, considerando el marco de la política pública existente. En este contexto las variables de análisis consideran: el contexto ambiental, social –rural y urbano-, de infraestructura y económico –financiero-.

Es bajo este contexto que los esquemas definidos por el análisis de la complejidad territorial enmarcado en el Ordenamiento Ecológico Territorial del Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona, se considera la definición de la vulnerabilidad de cada subsistema (ambiental, social y económico) a partir de la construcción de indicadores de vulnerabilidad territorial que consideren los contextos históricos de los desastres recientes, así como un índice de vulnerabilidad ambiental, social y económica que enmarca “dónde” se es más vulnerable”.

### 3 RESULTADOS

En el Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona, las anomalías climáticas extremas (condición tiempo o clima) se relacionan con eventos extremos de temperatura de hasta 46°C (2009) y con temperaturas mínimas de hasta 2°C (2009), asimismo las variaciones de las temperaturas máxima y mínima indican la tendencia a días más cálidos y mañanas más cálidas a partir de los años setenta. Mientras que en términos de precipitación, las anomalías extremas se vinculan promedios de lluvia mayores, manifestándose en la zona de estudio el día 1 de noviembre de 2009 con 340 mm, así como en octubre de 1999 con 845 mm; mientras que bajo las condiciones derivadas de frentes fríos y ciclones han dejado afectaciones por inundaciones con precipitaciones de más de 200 mm; en el caso de la descripción del huracán Opal de 1995 los reportes locales indican una precipitación extrema de 110 mm acumulados durante 3 días. En el caso la humedad resulta otro factor que en términos de anomalías extremas se asocian a estimaciones de humedad específica histórica (1940-2005) que considera una humedad menor al 5% para valores actuales. En el caso del período 1970-2013, se reportaron un total de 86 eventos que generaron algún desastre en el Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Eventos detonantes meteorológicos evidenciados en Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona

EVENTOS DETONANTES METEOROLOGICOS	PELIGRO	AMENAZAS REGISTRADAS (1970-2013)	IMPACTO LOCAL
Norte (evento extremo) ocasiona frente frío	Descenso de temperatura	Se manifiesta 58% de las veces en la zona de estudio (50 eventos manifestados) eventos en la región ubicadas en los años 1980, 1998, 2007,2008,2009,2010, 2013	Golpe de frío, enfermedades respiratorias
	Viento fuerte a muy fuerte y tormenta		Afectación de viviendas y edificaciones
	Marea de tormenta		Golpe de oleaje y corrientes por arriba del standar normal se detecta por la conformación de una terraza
	Inundación		Erosión de playas y terrazas bajas y medias de la zona intermareal por golpe de oleaje y splash
Lluvias extremas	Tormenta eléctrica	Se manifiesta 14% de las veces en la zona de estudio (12 eventos manifestados) eventos extremos manifestados en la región de estudio 1970,1972, 1973, 1980, 1983, 1989, 1992, 1993, 1999, 2000, 2010	Inundación local, vendaval
	Nubes de desarrollo vertical		
Ciclón tropical	Erosión areal e intensa denudación	Se manifiesta 13% de las veces en la zona de estudio (11 eventos	Sobresaturación del suelo movimiento ticsotrópicos abundantes que afecta la agricultura.

EVENTOS DETONANTES METEOROLOGICOS	PELIGRO	AMENAZAS REGISTRADAS (1970-2013)	IMPACTO LOCAL
	Viento fuerte a muy fuerte y tormenta	manifestados) eventos extremos manifestados en la región de estudio 1973, 1979, 1992, 1998, 2000, 2009, 2010, 2011 y 2013.	Afectación de techumbres de lámina, palma y madera.
	Marea de tormenta		Golpe de oleaje y corrientes por arriba del standar normal se detecta por la conformación de una terraza , erosión de playas y terrazas bajas y medias de la zona intermareal por golpe de oleaje y splash
	Inundación		Inundaciones extensas
Onda del Este (onda tropical)	Vientos de tormenta fuertes	Se manifiesta 7% de las veces en la zona de estudio (6 eventos manifestados) eventos extremos manifestados en la región de estudio 2003, 2008, 2010 y 2012	Enfermedades humanas por perdida confort climático: sensación de frio
	Descenso en la temperatura		
	Inundación		Inundaciones extensas
Sequia meteorológica (periodo extremo)	Ampliación de los periodos de estiaje	Se manifiesta 5% de las veces en la zona de estudio (4 eventos manifestados)  Eventos extremos manifestados en la región de estudio 2007, 2008, 2009, 2011	Estrés hídrico flora y fauna. Siniestralidad agrícola (2011)
Onda de calor	Perdida confort climático con sensación de bochorno extenuante	Se manifiesta menos del 3% de las veces en la zona de estudio (3 eventos). Eventos extremos manifestados en la región de estudio 2009 (46°C), 2010 (44°C), 2011 (mayor a 40°C)	Daños a la salud por golpe de calor. Causar en la población signos de debilidad muscular, sed excesiva, piel caliente y sudorosa, calambres, mareos, vómito, pérdida del conocimiento y hasta de la vida, en algunos casos

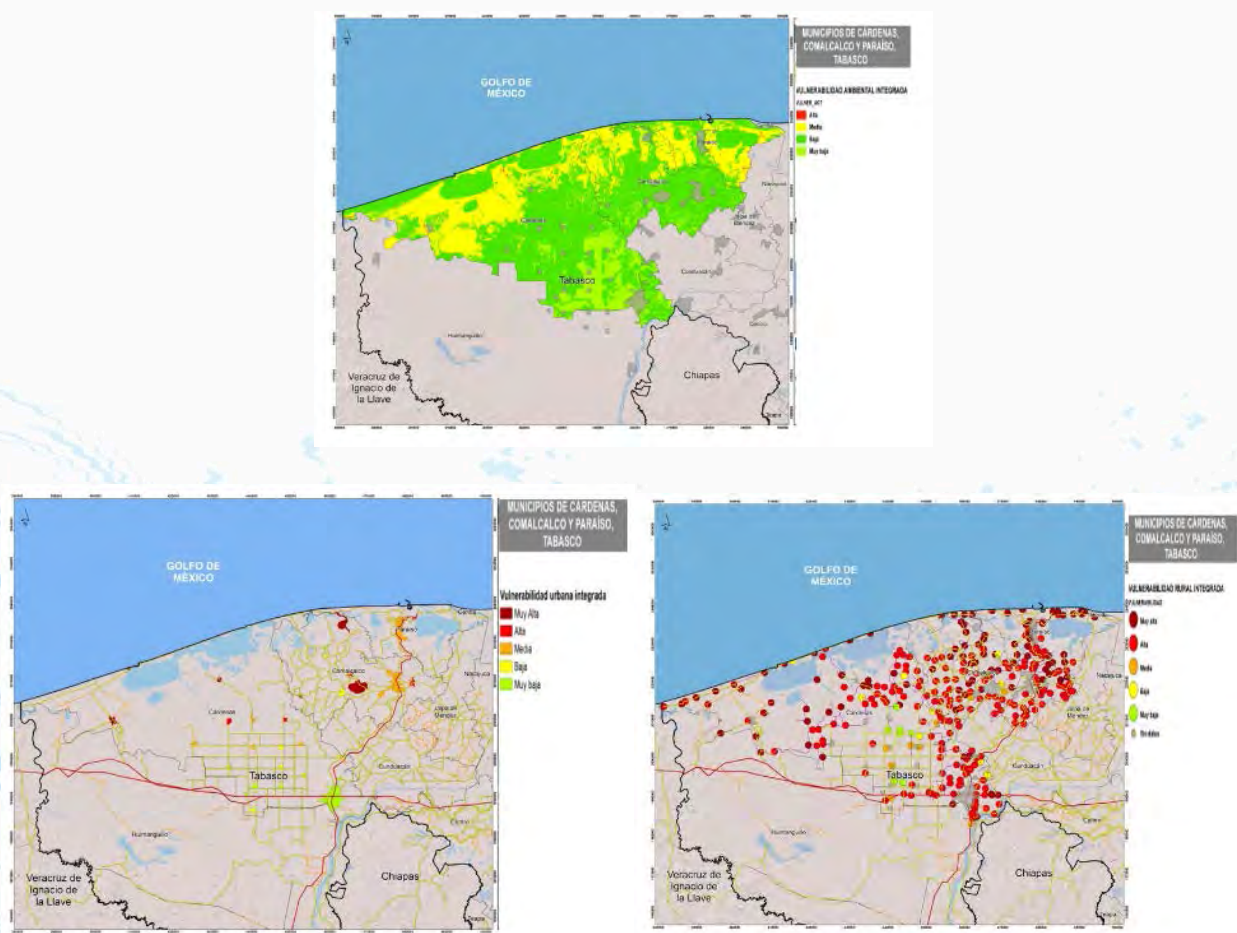
Fuente: INECC, IMTA. Banco Mundial. Geoeosistemas SA de CV. 2016. "Proyecto de adaptación de humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático"

## VULNERABILIDAD DEL SUBSISTEMA AMBIENTAL, SOCIAL -URBANO Y RURAL- Y ECONÓMICO, DEBIDO A PELIGROS NATURALES VINCULADOS AL CLIMA ACTUAL Y SU VARIABILIDAD

En el caso del subsistema ambiental se consideraron 21 variables para definir las 3 dimensiones de vulnerabilidad que le asignaron final de vulnerabilidad ambiental del territorio del Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona, dando como resultado que el 64.2% de su territorio presenta vulnerabilidad ambiental baja, el 26.6% media, en el 8.8% muy baja y solo en el 0.5% es alta. Para el análisis social -urbano y rural- se consideraron 19 variables, enmarcando en el contexto urbano de las 28 localidades urbanas existentes, 1 localidad presenta un grado alto de vulnerabilidad, 14 media y 13 baja. Mientras que, en el contexto rural de las 128 localidades rurales existentes, 128 localidades presentan muy alta vulnerabilidad, 175 alta, 6 media, 21 baja y 7 muy baja (Figura 2).



Figura 2. Grado de vulnerabilidad ambiental, social urbana y rural actual ante peligros naturales vinculados al clima actual y su variabilidad



Fuente: INECC, IMTA. Banco Mundial. Geoecosistemas SA de CV. 2016. "Proyecto de adaptación de humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático"

Mientras que para el caso de la vulnerabilidad económica se aplicaron 28 variables que definieron que el municipio de Paraíso mantiene alta vulnerabilidad, el de Cárdenas media y el de Comalcalco baja.

## CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

En el caso de los escenarios regionalizados con base en información de las estaciones climatológicas locales, los escenarios de cambio climático A2 para valores de temperatura y precipitación, sugieren que la temperatura mínima tendrá un aumento cercano a los 2°C, mientras que los eventos extremos de precipitación se esperan entre los 450 y 750 mm acumulados en 5 días, 100 mm más que en el escenario del clima actual. Esto significa un incremento en la cantidad de lluvia durante eventos que provocan precipitaciones como los frentes, ondas del este, ciclones y lluvias convectivas. Bajo estas perspectivas los peligros, amenazas e impactos derivados de eventos extremos ante el cambio climático se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Eventos detonantes meteorológicos evidenciados en Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona

EVENTOS DETONANTES	PELIGRO	AMENAZAS FUTURAS 2050	IMPACTO LOCAL
Subsidencia geológica	Cambio línea costera	Permanente	Cambios de la conformación costera. retroceso-avance
Incremento del nivel del mar 0.5 m	Inundación permanente del territorio	Probabilidad 50% de ocurrencia	83,997 hectáreas continente y 33,714 hectáreas de cuerpos de agua
Aumento frecuencia de tormentas por Nortes	Descenso de temperatura	Probabilidad mayor a 60% de ocurrencia	Golpe de frío, enfermedades respiratorias. sensación térmico fresco ligero (19°C)
	Viento fuerte		Afectación de viviendas y edificaciones
	Marea de tormenta		Golpe de oleaje y corrientes por arriba del standar normal se detecta por la conformación de una terraza
	Inundación		Erosión de playas y terrazas bajas y medias de la zona intermareal por golpe de oleaje y splash
Incremento de la temperatura en 2°C	Aumento de la humedad específica (60%) por aumento de la temperatura	Probabilidad 50% de ocurrencia	Enfermedades humanas, cultivos (cacao), ganado
	perdida confort climático con sensación de bochorno extenuante con eventos extremos con temperaturas mayores a 40°C		Sensación térmico bochorno (38.4°C)
Incremento de lluvias por eventos extremos	Incremento del efecto de la cuenca por eventos extremos inundación (ríos y lagunas)	Probabilidad mayor 20% de ocurrencia	Inundación local, vendaval

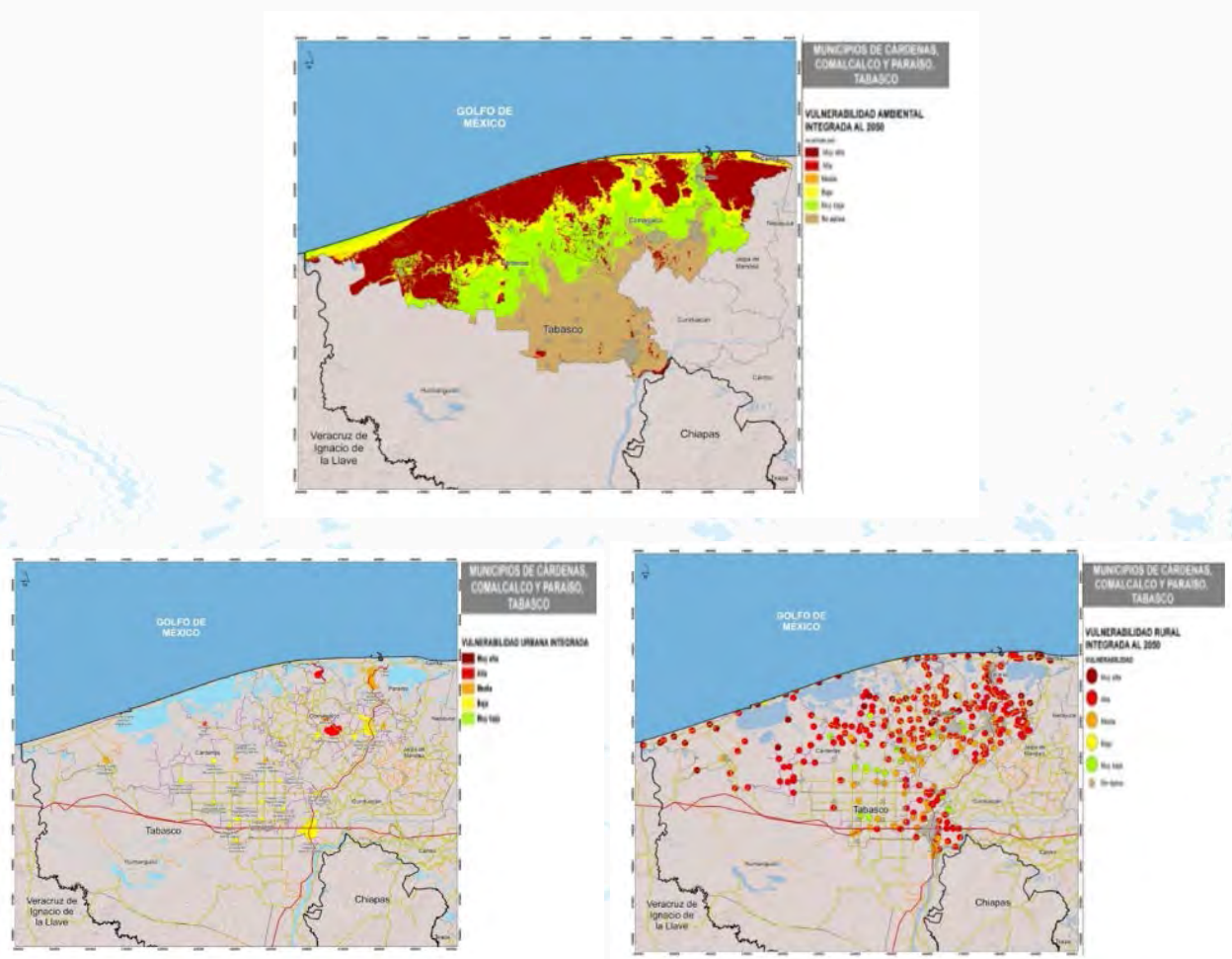
Fuente: INECC, IMTA. Banco Mundial. Geoeosistemas SA de CV. 2016. "Proyecto de adaptación de humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático"

## VULNERABILIDAD DEL SUBSISTEMA AMBIENTAL Y SUBSISTEMA SOCIAL -URBANO Y RURAL-, DEBIDO A PELIGROS NATURALES VINCULADOS AL CLIMA FUTURO

Para el subsistema ambiental se seleccionaron 11 variables para definir las 3 dimensiones de vulnerabilidad ante los eventos futuros esperados por el cambio climático, enmarcando que en el 72% del territorio del sistema lagunar se podría presentar impactos a futuro vinculados a eventos extremos propiciados por el cambio climático; mientras que el 37.4% pudiese presentar vulnerabilidad muy baja y 33.7% media. Mientras que para el contexto social se consideraron 13 variables, dando como resultado que, de las 28 localidades urbanas existentes, se espera que a futuro 5 localidades podrían presentar vulnerabilidad muy alta, 5 alta, 5 media, 6 baja y 7 muy baja. Mientras que, en el contexto rural, 35 localidades presentarían vulnerabilidad muy alta, 209 alta, 39 media y 20 muy baja (Figura 3).



Figura 3. Grado de vulnerabilidad ambiental, social -urbano y rural- futuro ante peligros vinculados al cambio climático



Fuente: INECC, IMTA. Banco Mundial. Geosistemas SA de CV. 2016. "Proyecto de adaptación de humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático"

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El empleo de los lineamientos planteados por el United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007), para la definición del grado de vulnerabilidad que el territorio tiene en la actualidad ante la variabilidad climática y los eventos hidrometeorológicos extremos que se presentan; así como los que posiblemente se deriven por los efectos del cambio climático; ofrecieron las bases para el cálculo de las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa en el Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona, enmarcando los eventos detonantes, los peligros, las amenazas y el impacto local que se manifiestan en el territorio, condicionantes que responden las preguntas ¿A qué se es vulnerable?, permitiendo identificar territorialmente el ¿Dónde se es vulnerable?, condicionantes clave que el Ordenamiento Ecológico Territorial deberá considerar para la definición de los usos del suelo derivados del modelo de OET, los cuales permitirán aplicar lineamientos que consideren medidas de adaptación ante el cambio climático.

Considerando que el análisis de la vulnerabilidad del Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona, forma parte de una serie de instrumentos técnico - administrativos que incluyen el enfoque de adaptación ante el cambio climático, lo que aporta elementos al proyecto Sistema de monitoreo de los manglares de México" de CONABIO y a la implementación de acciones de adaptación por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático desde 2016, coadyubando en el programa de "Adaptación en humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del



cambio climático" a través de la intervención de la cuenca baja de las Regiones Hidrológicas 29 Coatzacoalcos y 30 Grijalva-Usumacinta que integran el sistema lagunar.

En cuanto a la integración del Ordenamiento Ecológico Territorial (OET), al incluir temas vinculados a la descripción de las condiciones del clima actual y su variabilidad histórica; la visión histórica de los eventos climáticos extremos manifestados en el territorio; la identificación de conflictos ambientales derivados de la variabilidad climática actual, los efectos de estos conflictos sobre los ecosistemas; el análisis de la vulnerabilidad climática actual y esperada a futuro; el diseño de escenarios de CC considerando la aplicación o no de medidas de adaptación; la definición de indicadores de vulnerabilidad climática y de CC; definiendo las principales actividades económicas afectadas y la causa de su vulnerabilidad, la capacidad de resiliencia, los costos de la no aplicación de medidas de adaptación, entre otros. Es que este instrumento de planeación ambiental bajo la perspectiva del CC promueve la disminución de la vulnerabilidad de los socioecosistemas bajo un enfoque de manejo adaptativo, el cual busca entender el funcionamiento actual de la relación de los socioecosistemas con el clima, así como proyectar su funcionamiento futuro bajo escenarios de CC, aplicando esquemas de manejo del riesgo y la aplicación de medidas de adaptación que respondan a los escenarios futuros del clima para disminuir su vulnerabilidad.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al INECC, IMTA y Banco Mundial por la oportunidad de participar en la integración de este “Proyecto de adaptación de humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático” Consultoría IMTA-BIRF/5BCC-09/2013, así como al Mtro. Gerardo Negrete Fernández, Dr. Jorge López Blanco, y personal de Geoecosistemas SA de CV por sus contribuciones.

## 6. LITERATURA CITADA

- CONAGUA (2012) Plan Hídrico Integral de Tabasco. Libro Blanco CONAGUA-01.Comisión Nacional del Agua. México, D.F. Disponible en: [http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/Documentos/LIBROS%20BLANCOS/CONAGUA-01%20Programa%20Integral%20de%20Tabasco%20\(PIHT\).pdf](http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/Documentos/LIBROS%20BLANCOS/CONAGUA-01%20Programa%20Integral%20de%20Tabasco%20(PIHT).pdf)
- INECC, IMTA, Banco Mundial, Geoecosistemas SA de CV. 2016. “Proyecto de adaptación de humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático”. México.
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge. Disponible en: <http://www.offnews.info/downloads/IPCC2007II.pdf>
- Magaña, V. (2013). Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático. INECC, PNUD, GEF. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. D.F. 61 p.
- Monterroso Alejandro, Cecilia Conde, Carlos Gay, David Gómez y José López. 2014. En: “Two methods to assess vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector. Mitig Adapt Strateg Glob Change (2014) 19:445–461 DOI 10.1007/s11027-012-9442-y”
- Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018. (Periódico del Diario Oficial de la Federación: 28/04/2014).



# **ID-075: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL DE LAS LOCALIDADES ANTE EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS EN LA SUBCUENCA EMBALSE INFIERNILLO BAJO BALSAS.**

Rosaura PÁEZ-BISTRAIN<sup>a</sup>, Ana L. BURGOS<sup>a</sup> y Gabriela CUEVAS<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM Campus Morelia*  
rpaezb@ciga.unam.mx, aburgos@ciga.unam.mx, gcuevas@ciga.unam.mx

## **RESUMEN**

La vulnerabilidad social (VS), refleja la sensibilidad y capacidad de respuesta ante eventos hidrometeorológicos extremos de la población que habita una localidad y la realidad de las capacidades municipales para enfrentar dichos eventos. Sin embargo, son escasos los trabajos que analizan la VS de las localidades en el contexto de sistemas hidrológicos. El objetivo de este trabajo es determinar la VS de la población en localidades situadas en la subcuenca Embalse Infiernillo-Bajo Balsas para identificar su sensibilidad y capacidad de respuesta ante eventos hidrometeorológicos extremos. La VS se determinó a partir de la aplicación del índice de vulnerabilidad social en 700 localidades de la SCEIBB; el cual considera 11 variables agrupadas en cinco temas. Los resultados de la aplicación del índice de VS ubican a 425 de las 700 localidades en condiciones de alta y muy alta VS; lo que representa el 61 % de los asentamientos en la subcuenca. En condiciones de vulnerabilidad media se encuentran el 34 %, mientras que en condiciones de VS baja se encuentran el 5 % y menos del 0.5 % se ubican en condiciones de muy baja VS. En cuanto a la distribución espacial, en el sureste de la cuenca predominan las localidades en condiciones de VS de media a muy alta; así como en el suroeste. En el norte de la cuenca, las condiciones de VS van de baja a muy alta; mientras que, en el sur, se ubican localidades en condiciones que van de muy baja a muy alta VS, estas últimas en la zona de influencia del Puerto de Lázaro Cárdenas. La distribución de la VS de las localidades está relacionada con factores como el acceso a la educación, el acceso al agua potable y drenaje y la razón de dependencia. En este sentido el analfabetismo y las altas tasas de dependencia, así como la falta de servicios de la población que vive en condiciones de pobreza, principalmente, limitan la comunicación de medidas preventivas y el acceso a suministros de emergencia ante eventos extraordinarios y por lo tanto requieren de mayores recursos por parte de los gobiernos para su recuperación.

**Palabras clave:** capacidad de respuesta, pobreza, marginación, cuenca del Río Balsas.

## **1 INTRODUCCIÓN**

La vulnerabilidad social (VS), refleja la sensibilidad y capacidad de respuesta ante eventos hidrometeorológicos extremos de la población que habita una localidad y la realidad de las capacidades municipales para enfrentar dichos eventos (Masozera et al., 2007; Cutter, 2009). En general las personas que viven en condiciones de pobreza tienen menos posibilidades de adoptar medidas preventivas, contar con suministros de emergencia y medios para la recuperación de pérdidas materiales y humanas requiriendo tiempos más largos para su recuperación (Masozera et al., 2007; Cutter, 2009).

La VS se ha evaluado de diferentes maneras, la mayoría de ellas usando variables provenientes de los censos de población y vivienda relacionados con diferentes herramientas matemáticas y estadísticas, como la suma ponderada de variables o el análisis de componentes principales (Cutter, 2003; Vergara, 2012; Armas y Gavris, 2013; Letsie y Grab, 2015). En cuanto a las variables utilizadas para estimar la vulnerabilidad social, se encuentran las que tienen que ver con los ingresos, como la población económicamente activa (PEA) y la razón de dependencia. Las variables mencionadas permiten estimar la capacidad que tiene la población para la subsistencia diaria, así como para la acumulación de recursos que le permitan hacer frente a situaciones extraordinarias (Rodríguez 2007). El acceso a la educación es otro indicador importante ya que es fundamental para la preparación frente a situaciones de desastre, toda vez que puede influir directamente en las habilidades y los conocimientos adquiridos por las personas y reducir indirectamente la pobreza, mejorar la salud y promover el acceso a la información y los recursos (Muttarak y Lutz, 2014; UNESCO 2017). Al igual que la educación, el acceso a la salud es esencial para el desarrollo óptimo de las capacidades y potencialidades de las personas para resistir y



afrontar las adversidades. La OCDE publicó en 2018 *El panorama de salud 2017*, en donde se menciona que la mayor parte de los países pertenecientes a este organismo tienen una cobertura de salud del 95 % o más, incluso México aparece con una cobertura del 92 %, sin embargo, los datos de INEGI 2015, muestran que el 17.8 % de la población mexicana no es derechohabiente del sistema de salud público.

Por otra parte, el acceso a servicios públicos como el agua entubada, el drenaje y la energía eléctrica, así como algunas características de las viviendas como el piso de tierra, dan cuenta de la precariedad en la que vive la población en una localidad y mientras menos acceso tengan menor será su calidad de vida y mayor será su vulnerabilidad ante situaciones de desastre (Masozera et al., 2007; Cutter, 2009).

En lo que se refiere a grupos vulnerables, se encuentran las personas con alguna discapacidad, quienes son vulnerables en la medida en que están en desventaja en el acceso a servicios públicos, educación, salud, oportunidades laborales y transporte, situación que se exacerban en localidades aisladas (OMS 2011; OMS 2017). Los hogares con jefatura femenina también suponen mayor vulnerabilidad en la medida que prevalece la inequidad en el acceso a la educación superior y por ende al acceso a trabajos mejor remunerados y a mejores servicios de salud y de cuidado infantil (Arriagada 2005; Ochoa 2007; CONEVAL 2016).

En este trabajo se emplea el enfoque de cuenca como el marco para “entender y organizar la relación entre la sociedad y la naturaleza en espacios geográficos específicos” (Burgos y Bocco, 2015). Además de ser el espacio idóneo para la construcción de redes de comunicación que permitan la colaboración y cooperación a diferentes niveles de organización social e institucional (Burgos y Bocco, 2015) que detonen el desarrollo local y disminuyan la vulnerabilidad social en la cuenca. En este sentido, la subcuenca Embalse Infiernillo-Bajo Balsas (EIBB) incluye en su territorio municipios del estado de Michoacán y Guerrero con grados de marginación altos y muy altos. Si embargo, la subcuenca EI-BB reviste valor estratégico para México y para el Estado de Michoacán, pues en esta se ubica la Presa Adolfo López Mateos “El Infiernillo”, que genera el 36.8 % de la energía hidroeléctrica total del país. Además de que en la desembocadura del río Balsas se ubica el Puerto de Lázaro Cárdenas, en torno al cual ha sido declarada en el año 2017 una de las seis Zonas Económicas Especiales (ZEE), cuyo establecimiento y operación tiene el objetivo de impulsar el crecimiento económico sostenible para reducir la pobreza, permitir la provisión de servicios básicos y expandir las oportunidades para vidas saludables y productivas, en la región según lo establece la Ley de Zonas Económicas Especiales (DOF, 2016).

Dado lo anterior, y considerando que son escasos los trabajos que analizan la VS de las localidades en el contexto de sistemas hidrológicos, el objetivo de este trabajo es determinar la VS de la población que habita en localidades situadas en la subcuenca Embalse Infiernillo-Bajo Balsas y su distribución como una aproximación a medir su sensibilidad y capacidad de respuesta ante eventos hidrometeorológicos extremos. Lo anterior con el fin de dar mayores elementos que se integran a la gestión y manejo de cuencas hidrográficas.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### *Zona de estudio*

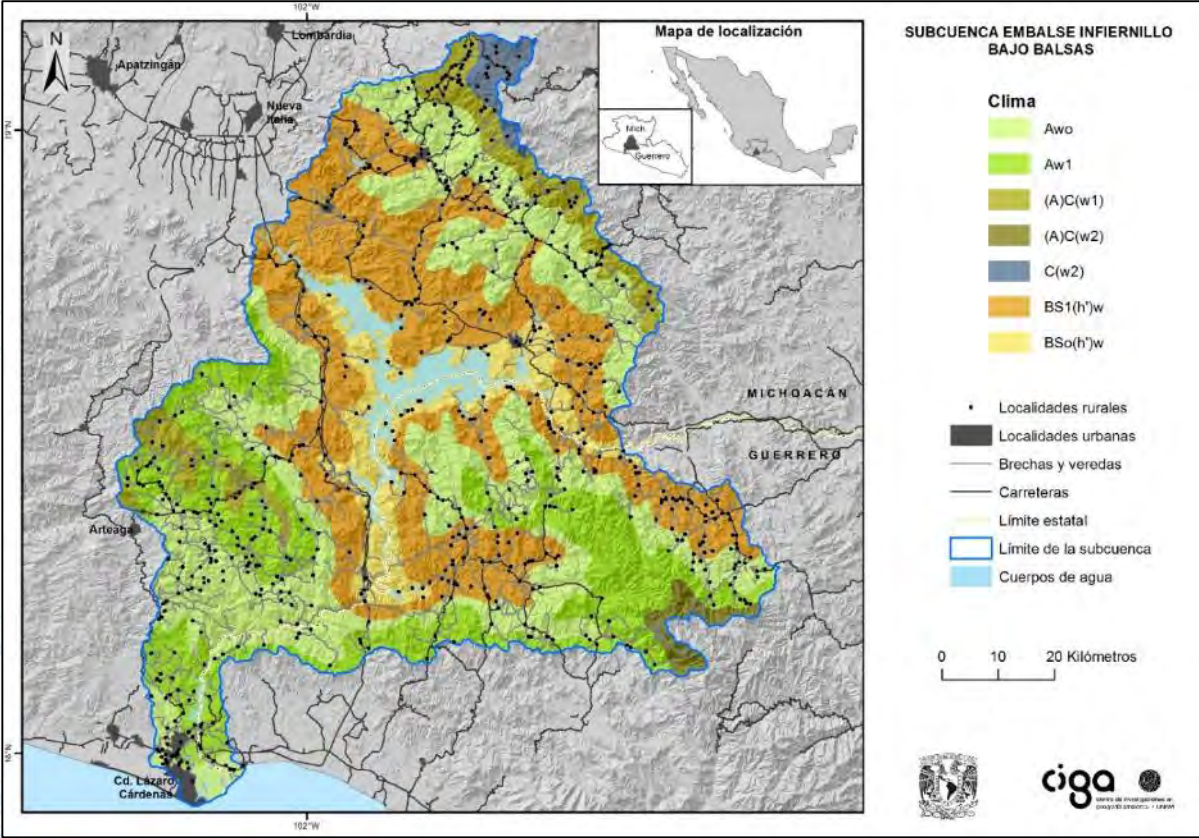
La subcuenca Embalse Infiernillo-Bajo Balsas (EI-BB), abarca la sección baja de la Cuenca del Río Balsas hasta su desembocadura al Océano Pacífico (Figura 1). Esta unidad hidrográfica tiene una superficie total de 8,024 km<sup>2</sup>, presenta un relieve predominantemente montañoso con altitud máxima de 2265 m.s.n.m. y está dominada por climas cálidos secos, con lluvias en verano. Según el Monitor de sequías en México, los municipios de la región han presentado registros de meses de anormalmente secos hasta sequía severa en los últimos diez años (CONAGUA, 2019). Su condición bio-física es representativa de la vertiente Pacífica de México, donde se extiende el trópico seco y su vegetación más representativa, las selvas bajas caducifolias (Burgos et al, 2013).

La subcuenca EI-BB incluye en su delimitación los territorios de 12 municipios, aunque dos de estos no cuentan con asentamientos humanos dentro de sus límites (Cuadro 1). El 65.5 % de la superficie está bajo jurisdicción de 7 municipios del Estado de Michoacán, con el restante 34.5 % bajo jurisdicción de tres municipios del Estado de Guerrero. Para el año 2010, los 10 municipios contenían cerca de 220 000 habitantes en 699 localidades reconocidas y habitadas con una distribución relativamente homogénea dentro de la cuenca (Figura 1). La mayoría de las localidades (534) habitadas con menos de 100 personas registradas, 151 tenían entre 100 y menos de 1000 habitantes, siete tenían entre 1000 y 2500, solo una tenía poco menos de 10 000 y tres se encontraban por arriba



de los diez mil habitantes, incluyendo a la ciudad de Lazaro Cárdenas con 79200 habitantes. La mayoría son municipios rurales con alta dispersión de la población, falta de caminos en buen estado, carencia de servicios de salud, y baja atención a la educación, lo que han venido ocurriendo históricamente, y que ha hecho de esta región una de las más marginadas de los Estados de Michoacán y Guerrero.

Figura 1. Delimitación geográfica, climas y distribución de localidades en la subcuenca EI-BB



Cuadro 1. Distribución municipal de localidades habitantes y viviendas en la subcuenca EI-BB. Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Estado	Municipio	Número de localidades	Habitantes	Densidad de pob (hab.km <sup>-2</sup> )	Total de viviendas
Guerrero	Coahuayutla de Izazaga	134	10,445	5.6	3,562
	Zirándaro	75	3,431	5.2	1,404
	La Unión de Isidoro	27	8,098	26.8	2,682
	Montes de Oca				
Michoacán	Arteaga	143	8,816	4.8	2,451
	La Huacana	116	27,493	17.8	7,798
	Churumuco	85	14,344	13.2	3,636
	Lázaro Cárdenas	50	140,090	445.2	42,378
	Ario de Rosales	47	4,199	16.1	1,330
	Turicato	16	830	6.6	196
	Nuevo Urecho	7	279	6.4	85

Cuadro 2. Dimensiones y variables integradas en el índice de vulnerabilidad social de los asentamientos, descripción y escalas de normalización.



Dimensión	Indicador	Símbolo	Unidad de medida	Limites	Valor
Salud	Población no derechohabiente	Pnd	%	0.0 -5.0	0.00
				5.1 -10.0	0.25
				10.0-25.0	0.50
				25.1-50.0	0.75
				50.1-100	1.00
Educación	Población analfabeta	Pan	%	0.0-1.0	0.00
				1.1-9.0	0.25
				9.1-14.0	0.50
				14.1-30.0	0.75
				30.1-100	1.00
	Grado promedio de escolaridad	Gpe		0.0-3.0	1.00
				3.1-6.0	0.75
				6.1-9.0	0.50
				9.1-12.0	0.25
				12.0-22.0	0.00
Vivienda	Viviendas sin agua entubada	Vsae	%	0.0-4.0	0.00
				4.1-9.0	0.25
				9.1-16.0	0.50
				16.1-25.0	0.75
				25.1-100	1.00
	Viviendas sin drenaje	Vsd	%	0.0-6.8	0.00
				6.9-13.0	0.25
				13.1-18.0	0.50
				18.1-32.0	0.75
				32.1-100	1.00
	Viviendas sin electricidad	Vse	%	0.0-3.6	0.00
				3.7-7.4	0.25
				7.5-15	0.50
				15.1-30	0.75
				30.1-100	1.00
	Viviendas con piso de tierra	Vpt	%	0.0-6.0	0.00
				6.1-15.0	0.25
				15.1-30	0.50
				30.1-45	0.75
				45.0-100	1.00
Ingresos	Razón de dependencia	Rd	%	0.0-10.0	0.00
				10.1-25.0	0.25
				25.1-50	0.50
				50.1-100	0.75
				100.1-500	1.00
Grupos vulnerables	Población de habla indígena	Pi	%	0-39.9	0.00
				40.0-100	1.00
	Hogares con jefatura femenina	Hjf	%	0.0-10	0.00
				10.1-15.0	0.25
				15.1-30.0	0.50
				30.1-50.0	0.75
				50.0-100	1.00
	Población con discapacidad	Pd	%	0.0-4.0	0.00
				4.1-10.0	0.25
				10.1-15.0	0.50
				15.1-20.0	0.75
				20.1-100	1.00

### *Construcción del Índice de Vulnerabilidad Social*

La vulnerabilidad social (VS) se evaluó a nivel de localidad, para lo cual se seleccionaron 11 variables, las cuales se agruparon cinco temas: a) salud, b) educación, c) vivienda, d) ingresos y e) grupos vulnerables (Cuadro 2); los



cuales determinan la capacidad de desarrollo y condicionan la capacidad de respuesta de una comunidad ante cualquier contingencia. Las fuentes de información de los datos analizados fueron las siguientes: el Censo de Población y Vivienda 2010 de INEGI, el Índice de Marginación de CONAPO, 2010. La construcción del índice se basó en un modelo lineal aditivo, con un mismo parámetro de ponderación de 0.091 para todos los términos, de tal modo que:

$$S = 0.091 * Pnd + 0.091 * Pan + 0.091 * Gpe + 0.091 * Vsae + 0.091 * Vsd + 0.091 * Vse + 0.091 * Vpt + 0.091 * Rd + 0.091 * Pi + 0.091 * Pcd + 0.091 * Hjf$$

Donde Pnd es la población no derechohabiente; Pan es la población analfabeta; Gpe es el grado promedio de escolaridad de la población; Vsa es las viviendas que no disponen de agua entubada; Vsd es las viviendas que no disponen de drenaje; Vse es las viviendas que no disponen de electricidad; Vpt es las viviendas con piso de tierra; Rd es la razón de dependencia; Pi es la población indígena; Pcd es la población con discapacidad y HJF es los hogares con jefatura femenina (Cuadro 2).

Cada variable fue normalizada estableciendo rangos de valores y clases de cada variable, de acuerdo con la revisión de estadísticas nacionales e internacionales de organismos como el INEGI, la OMS, la CEPAL, la UNESCO, la OCDE, la UNICEF y el Banco Mundial.

### 3. RESULTADOS

Los resultados de la aplicación del índice de vulnerabilidad social (VS) en las 699 localidades de la subcuenca Embalse Infiernillo-Bajo Balsas varían de 0.18 a 1.0. De las 699 localidades, 426 se encuentra en una condición de alta y muy alta vulnerabilidad social (0.61 - 1.0), lo que representa el 61 % de los asentamientos en la subcuenca. El 34 % (238) de las localidades se ubican en una condición de vulnerabilidad moderada (0.41 - 0.59), 34 localidades, que representan el 5 %, se ubican en una condición de baja VS (0.25 - 0.39) y solo una localidad se ubica en condiciones de muy baja vulnerabilidad (0.18) (Figura 4). Tomando en cuenta el tamaño de las localidades, tenemos que de las 427 localidades en condiciones de alta y muy alta VS, 385 son localidades con menos de 100 habitantes, es decir el 90 por ciento de las localidades con menos de 100 habitantes; el otro diez por ciento corresponde a localidades que tenían entre 100 y menos de mil habitantes. De las 238 localidades en condiciones de moderada VS, poco más del 50 por ciento corresponden a localidades con menos de 100 habitantes, poco más del 40 por ciento a localidades que tenían entre 100 y menos de 1000. De las 34 localidades con baja VS, 17 tenían menos de 100 habitantes y 10 tenían entre 100 y 1000. La única localidad con muy baja VS es la ciudad de Lázaro Cárdenas con 79 200 habitantes registrados en el censo de 2010.

De los resultados antes descritos, podemos ver que las localidades más pequeñas (menos de 42 habitantes) y con los mayores valores de vulnerabilidad (alta y muy alta), si bien se distribuyen en toda la cuenca, se concentran en el sur. En el suroeste, se ubica el municipio de Arteaga con el 63 % de su territorio dentro de la cuenca en donde se distribuyen 143 localidades (8816 habitantes), de las cuales el 70 % calificaron como de alta o muy alta VS (cuadro 4), con un valor promedio de 0.79. En esta zona se ubica también el municipio de Lázaro Cárdenas, el cual concentra a poco más de ciento cuarenta mil habitantes, casi el 65 por ciento de la población de la cuenca, en solo 50 localidades distribuidas en el 35 % de su territorio comprendido dentro de la cuenca. De las 50 localidades, 34 (68 %) se califican en situaciones de alta y muy alta vulnerabilidad social, con valores promedio de 0.73, de los cuales 32 son caseríos con menos de 40 habitantes (809 habitantes en total). Ocho son localidades clasificadas de moderada vulnerabilidad que suman 1050 habitantes; siete son de baja VS con 59031 habitantes y la ciudad de Lázaro Cárdenas es la única localidad, en toda la cuenca, con muy baja VS en la que vivían 79 200 personas. El municipio de la Unión de Isidoro Montes de Oca, tiene poco más del 30 % de su población asentada en el suroeste de la subcuenca en 27 localidades (8098 habitantes), de las cuales el 44 por ciento (12 localidades) se clasificaron como de alta y muy alta vs, en las que viven 191 personas, mientras que en condiciones de moderada y baja vs se



encuentran 15 localidades (56 %) que suman 7907 habitantes. Hay que considerar que solo el 19 % del territorio municipal queda dentro de la subcuenca EIBB con casi una tercera parte de la población total del municipio.

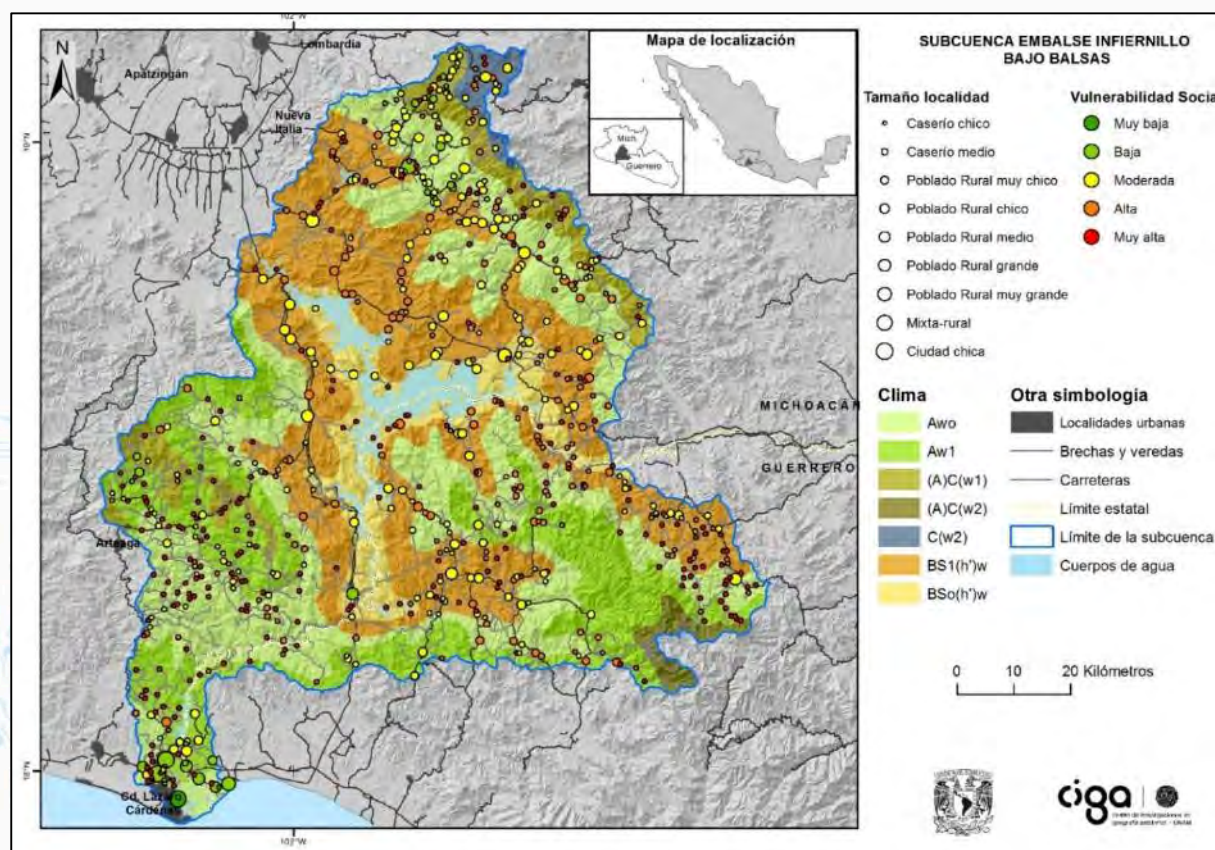


Figura 4.

Figura 4. Distribución espacial de vulnerabilidad social de las localidades ubicadas en la subcuenca del Bajo Balsas de acuerdo con el tamaño del asentamiento.

Al sureste de la cuenca en donde se ubican los municipios de Coahuayutla de José María Izazaga y Zirándaro, ambos en el estado de Guerrero, se clasificaron 150 localidades en condiciones de alta y muy alta VS, lo que representa el 72 por ciento de las localidades de ambos municipios. Coahuayutla de José María Izazaga tiene 134 localidades dentro de la subcuenca EIBB, de las cuales el 68 por ciento (91) se encuentra en condiciones de alta y muy alta VS, en las cuales vive el 37 por ciento de la población del municipio dentro de la cuenca. El 63 por ciento de la población municipal en la cuenca se asienta en 43 localidades, en condiciones de VS moderada. Por otra parte, Zirándaro es el municipio que cuenta con la mayor proporción de localidades en condiciones de alta y muy alta vulnerabilidad (79 %), sin embargo, en estas se asientan solo 929 personas. El otro 20 por ciento de sus localidades, en donde viven 2467 personas, presentan condiciones moderadas de VS.

En el norte de la cuenca se ubican 271 localidades de las cuales el 46 por ciento (125) se encuentra en condiciones de moderada vulnerabilidad; el 49 por ciento se encuentra en condiciones de alta y muy alta VS, 21 y 28 por ciento respectivamente; mientras que solo el cinco por ciento se encuentra en condiciones de baja VS. El municipio de Nuevo Urecho se encuentra en el noroeste de la cuenca y 13 por ciento de su territorio se encuentra dentro de los límites de la subcuenca EIBB, en esta porción de la cuenca se ubican siete localidades de este municipio, en donde se asientan 279 habitantes. De las 7 localidades asentadas en la cuenca, 5 se ubican en condiciones de moderada y baja VS, lo que representa el 93 por ciento de la población del municipio en la cuenca, 45 y 48 % respectivamente; mientras que solo dos localidades con el 7 por ciento de la población se encuentran en condiciones de alta y muy alta VS. Casi el 80 por ciento del territorio del municipio de La Huacana se encuentra también en el noroeste de la subcuenca, en donde habitan poco más del 80 por ciento de la población total del municipio en 116 localidades. De estas, 35 (46 %) se encuentra en condiciones de moderada VS; 56 se encuentran en situación de alta y muy alta VS, 28 y 20 por ciento respectivamente; mientras que solo el seis por ciento de las localidades califica en



condiciones de baja VS. En cuanto a población, el 72 por ciento habita en localidades de moderada y baja VS, el otro 28 por ciento vive en localidades en situación de alta y muy alta VS.

Al noreste de la cuenca se ubica los municipios de Ario de Rosales con el 40 por ciento de su territorio dentro de la cuenca con 47 localidades, Turicato con el ocho por ciento y 16 localidades y Churumuco con el 98 por ciento y 85 localidades. El municipio de Ario de Rosales tiene el 60 por ciento de sus localidades en condiciones de moderada vulnerabilidad en donde habitan el 10 por ciento de la población total del municipio. El 32 por ciento de sus localidades en la cuenca se encuentran en condiciones de alta y muy alta VS, en las que viven el uno por ciento del total de la población municipal; el restante ocho por ciento de las localidades se encuentran en condiciones de baja VS con 279 habitantes. Las localidades del municipio de Turicato se encuentran distribuidas entre moderada (37.5 %), alta (37.5 %) y muy alta (25 %) vulnerabilidad social. La población asentada en estas localidades es de poco más del uno por ciento en las localidades con moderada y alta VS; mientras que solo el 0.1 por ciento de la población se asienta en las localidades de muy alta VS. En el municipio de Churumuco encontramos que el 41 por ciento de sus localidades se encuentran en situación de moderada VS, 32 % en alta, 26 % en muy alta y uno por ciento en condiciones de baja VS. Las localidades que se encuentran en situación de moderada VS contienen el 84 por ciento de la población total del municipio (12053 habitantes) y el 14 por ciento habita en localidades de alta VS.

Cuadro 4. Distribución de las localidades (*Locs*) y su población (*Habs*) de acuerdo con su condición de vulnerabilidad social para cada municipio de la subcuenca Bajo Balsas.

<b>Municipio</b>	<b>Muy alta</b>		<b>Alta</b>		<b>Moderada</b>		<b>Baja</b>		<b>Muy baja</b>	
	<i>Locs</i>	<i>Habs</i>	<i>Locs</i>	<i>Habs</i>	<i>Locs</i>	<i>Habs</i>	<i>Locs</i>	<i>Habs</i>	<i>Locs</i>	<i>Habs</i>
Coahuayutla de Izazaga	75	473	24	1846	39	3467	5	3030	0	0
Zirándaro	40	216	51	3654	43	6575	0	0	0	0
La Unión de Isidoro										
Montes de Oca	24	126	32	3609	53	13657	7	10101	0	0
Arteaga	22	140	27	2067	35	12053	1	84	0	0
La Huacana	42	273	17	656	15	2467	1	35	0	0
Churumuco	27	164	7	645	8	1050	7	59031	1	79200
Lázaro Cárdenas	6	71	9	313	28	3536	4	279	0	0
Ario de Rosales	8	71	4	120	8	1588	7	6319	0	0
Turicato	4	33	6	402	6	395	0	0	0	0
Nuevo Urecho	1	4	1	14	3	126	2	135	0	0

Como una aproximación a las capacidades municipales, encontramos que los factores relacionados con la educación, los servicios de agua potable y drenaje y la razón de dependencia, son los factores que con mayor frecuencia alcanzan las calificaciones más altas, en más del 80 % y hasta el 100 % de localidades. En cuanto a los municipios de Arteaga, Zirándaro y Lázaro Cárdenas, los 11 factores evaluados alcanzan las mayores calificaciones en más del 50 % de sus localidades. En el siguiente orden se encuentra Coahuayutla con 8 factores, seguido La Huacana, Churumuco, Ario de Rosales, La unión y Turicato, con 7 factores y Nuevo Urecho con seis factores que alcanzan las mayores calificaciones en más del 50 % de sus localidades (Datos no mostrados).

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo dan cuenta de los contrastes que existen en cuanto a los niveles de vulnerabilidad social en la subcuenca EIBB. Estos contrastes los podemos observar entre los municipios que tienen la mayor extensión territorial dentro de la cuenca, como Arteaga y Coahuayutla de Jasé María Izazaga, que tienen una amplia

extensión territorial dentro de la cuenca pero con poca población dispersa en localidades con menos de 100 habitantes. Esta dispersión representa serias dificultades para la implementación de políticas y programas sociales, para cubrir las necesidades básicas como el acceso a la educación, a la salud, el suministro de agua potable, drenaje, entre otros, lo que perpetúa las desigualdades en el acceso a medios, oportunidades y capacidades (CEPAL 2018). Por otra parte está el municipio de Lázaro Cárdenas con más del 50 % de su población asentada en la única localidad de muy baja VS en la subcuenca y poco más del 30 % en localidades de baja VS. Sin embargo el grado promedio de escolaridad de la población del municipio asentada en la subcuenca era de 8.5 años, es decir la mayoría de la población tenía la educación secundaria, lo que está apenas por debajo de la media nacional que es de 9.1 (INEGI, 2015); y aunque solo cerca del 5 % de la población del municipio asentada en la subcuenca era analfabeta, aún prevalecía más de una tercera parte de la población en alguna situación de pobreza (INEGI 2010).

Este hecho es preocupante, ya que la educación es uno de los factores más importantes en el acceso a empleos mejor remunerados, además de aportar competencias para la innovación económica, ambiental y social (UNESCO, 2017). La educación es fundamental para la preparación frente a situaciones de desastre, ya que según la UNESCO (2017) el estancamiento educativo puede llevar a un aumento del 20 % en las víctimas mortales relacionadas con desastres en una década. Por otra parte, el analfabetismo y el bajo grado de escolaridad principalmente, limitan la comunicación de medidas preventivas y la actuación oportuna y eficaz ante cualquier tipo de desastre. Lo anterior sugiere que la inversión pública en educación debería tener un impacto positivo en la reducción de la vulnerabilidad y en la capacidad de respuesta de las comunidades ante los riesgos que implica un clima cambiante (Muttarak y Lutz, 2014). En lo que respecta a la salud, aún las localidades más grandes en la cuenca, como las cabeceras municipales de La Huacana y Churumuco tenían más del 40 % de su población sin derechohabencia al sistema de salud, mientras que en el estado de Michoacán, la población no derechohabiente es del 25.6 %, (INEGI, 2015), siendo este el valor más elevado en México; lo que es grave considerando que el acceso a la salud es un derecho de todos los mexicanos de acuerdo con el artículo 4º de la constitución política de los estados unidos mexicanos. Para el estado de Guerrero se reporta el 14.98 % de población no derechohabiente a pesar de la precaria situación que prevalece en el estado (INEGI, 2015).

En algunas de las localidades se observó cierta influencia de la presencia de hogares con jefatura femenina, lo que suponen mayor vulnerabilidad en la medida que prevalece la inequidad para las mujeres en el acceso a la educación superior y por ende al acceso a trabajos mejor remunerados y a mejores servicios de salud y de cuidado infantil (Arriagada 2005; Ochoa 2007; CONEVAL 2013). Adicionalmente, las mujeres son más vulnerables dado su papel de madre y cuidadora, ya que cuando se enfrenta una situación de desastre antepone la seguridad de los menores de edad o adultos mayores que están a su cuidado a su propia seguridad (Cutter, 2009). En los municipios de la subcuenca 86 815 personas viven en hogares con jefatura femenina, lo que representa poco menos del 25 % de la población.

Como pudimos constatar, las condiciones socioeconómicas y los factores ambientales adversos incrementan la vulnerabilidad de la región en su conjunto, es decir, la posibilidad de sufrir daños y efectos negativos por amenazas como son sequías o inundaciones, a causa de eventos meteorológicos extremos. Sobre todo considerando que la subcuenca se encuentra sometida a regímenes de temperatura donde la media anual llega a ser de 28 grados centígrados y la precipitación está restringida a los meses de junio y octubre, cada vez más errática y con meses anormalmente secos y hasta sequías moderadas y severas en algunos de los municipios de la subcuenca.

Este estudio aporta el análisis de variables sociodemográficas integradas en un índice de vulnerabilidad social en una cuenca como un elemento a considerar en la gestión integrada de cuencas, toda vez que la cuenca se considera el espacio geográfico conectado por el agua, elemento que por otra parte determina la distribución y desarrollo de los asentamientos humanos. Este aporte podría contribuir a la elaboración de planes de desarrollo para la gestión de cuencas que Perevochtchikova y Arellano-Monterrosas (2008), entre otros ha identificado como un desafío en la gestión integral por cuencas.



## 5. AGRADECIMIENTOS

Las autoras de este trabajo agradecen al Proyecto CONACYT 263006: "Prospección territorial ante escenarios de cambio climático en cuencas de alta vulnerabilidad: bases para el manejo de información y la integración intersectorial".

## 6. LITERATURA CITADA

Armas, I. y Gavris, A. 2013 Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the Social Vulnerability Index (SoVI model): a case study for Bucharest, Romania. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13: 1481–1499.

Arriagada, I. 2005. Dimensiones de la pobreza y políticas desde una perspectiva de género. *Revista de la CEPAL*. 85: 101-113.

Burgos, A. y Bocco G. 2015. La cuenca hidrográfica como espacio geográfico. En: Burgos, A. Bocco, G., Sosa-Ramírez, J. (Coordinadores). *Dimensiones sociales en el manejo de cuencas*, UNAM/CIGA, 308 pp.

CEPAL. 2018. La ineficiencia de la desigualdad. (LC/SES.37/3-P), Santiago, 2018. Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43442/6/S1800059\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43442/6/S1800059_es.pdf). Consultado 16 de septiembre 2019.

CONEVAL. 2013. Pobreza y género en México: Hacia un sistema de indicadores información 2008-2012. Síntesis ejecutiva. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. México.

Cutter, S. L., Emrich, T. C.; J. Webb, J. J. y Morath, D. 2009. Social vulnerability to climate variability hazards: a review of the literature. Final report to Oxfam America, Columbia SC: University of South Carolina. Hazard and Vulnerability Research Institute.

INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por localidad (ITER). [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/iter\\_2010.aspx](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/iter_2010.aspx) (accesado 22 de octubre 2016).

INEGI. 2015. Principales resultados de la Encuesta Intersensal 2015: Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

Letsie, M. M. y Grab, W. Stefan. 2015. *Mountain Research and Development*. 35 (2):115–125.

Muttarak, R. y Lutz, W. 2014. Is education a key to reducing vulnerability to natural disasters and hence unavoidable climate change? *Ecology and Society* 19(1): 42. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06476-190142>

Ochoa A. Ma. C. 2007. Pobreza y jefatura femenina. *Revista de Estudios de Género. La ventana* [en línea] (Sin mes) : Fecha de consulta: 28 de junio de 2019. Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=88402507>> ISSN 1405-9436.

OMS. 2011. Informe mundial sobre la discapacidad 2011. Organización Mundial de la Salud. Malta.

OMS. 2017. 10 datos sobre la discapacidad. <http://www.who.int/features/factfiles/disability/es/> (Accesado 23 de mayo 2018)

OPS. 2013. Situación Mundial de la Discapacidad. Universidad Nacional Autónoma De Honduras. Honduras.

Perevochtchikova, M. y Arellano-Monterrosas J. L. Gestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos en México y Rusia. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4 (3): 313-325.

Rodríguez, V. J. 2007. América latina y el caribe. Pobreza y población: enfoques, conceptos y vínculos con las políticas públicas. *Revista notas de población*. 33(83): 11-41.

Striessnig, E., Lutz, W. & Patt, A. G. 2013. Effects of educational attainment on climate risk vulnerability. *Ecology and Society* 18(1): 16. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05252-180116>

UNESCO. 2015. La Educación para Todos, 2000-2015: logros y desafíos

UNESCO. 2017. Informe de seguimiento de la educación en el mundo. La educación al servicio de los pueblos y el planeta: creación de futuros sostenibles para todos. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Francia.

Vergara, G.R. 2011. Vulnerabilidad social y su distribución espacial: el caso de las entidades federativas de México, 1990-2010. *Paradigma económico*. 3(2): 85-111.

World Bank. 2008. *Watershed Management Approaches, Policies, and Operations: Lessons for Scaling Up*. Water Sector Board Discussion Paper Series. Paper No. 11. The World Bank, Washington, DC. 164 pp.



# **ID-111: GESTIÓN DE RIESGOS POR MOVIMIENTO DE LADERAS EN LA MICROCUENCA CHEMEALÓN EN TACANÁ, SAN MARCOS, GUATEMALA.**

Presenta Ing. Agr. Gabriela M. Enríquez E.  
Dirigido por: M. en GIC. José Carlos Dorantes Castro

## **1. Introducción:**

La Organización de las Naciones Unidas para el año 2016, colocó a Guatemala como uno de los países más vulnerables ante daños por desastres socio-naturales, por efecto del cambio climático (ONU, 2016). La frecuencia de fenómenos naturales que afectan al país año con año, y la facilidad con que éstos se convierten en amenaza para el sector rural, se debe en gran parte a las condiciones de vulnerabilidad que la población ha generado de forma involuntaria para satisfacer sus necesidades primarias (PDM, 2011-2018).

La necesidad de adaptación de la población es evidente, pero su capacidad para hacerlo es débil; considerando que el 56.2% se encuentra bajo la línea de pobreza (PNUD, 2009), y la mayor parte, está distribuida en la región del altiplano guatemalteco. La microcuenca Chemealón se ubica en la cabecera de cuenca del río Coatán, en Guatemala; localizándose en el área político-administrativa del municipio de Tacaná.

Los escasos estudios enfocados a la gestión de riesgos en Guatemala, dificultan y pone en evidencia la falta de gestión e implementación de medidas de prevención ante desastres socionaturales. Para el caso de movimientos de laderas la severidad y la frecuencia en que estos eventos ocurren, y los impactos que ocasionan en las diversas regiones del país, dan la partida de la importancia de delimitar el área de la cuenca y comprender la dinámica que en el territorio se genera. Por esta razón el presente trabajo resulta de mayor interés ya que consolida información sobre las zonas más vulnerables, características morfométricas de la microcuenca y del estado actual de los objetos expuestos. Por lo tanto los objetivos planteados para esta investigación fueron:

Objetivo general:

Establecer las situaciones de riesgo por movimiento de ladera, en las que se encuentran los objetos amenazados dentro de la microcuenca Chemealón, en Tacaná, San Marcos

Objetivos específicos

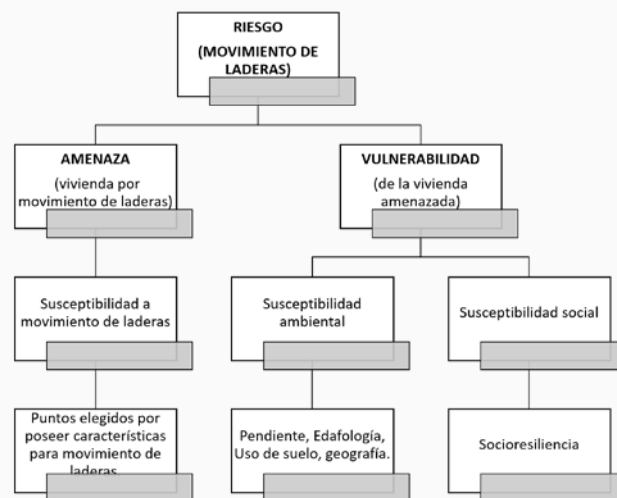
- Determinar las zonas de movimiento de laderas dentro de la microcuenca Chemealón.
- Identificar los objetos vulnerables ante la amenaza de movimiento de laderas.
- Analizar la capacidad de respuesta de la población dentro de la microcuenca partiendo de la organización comunitaria.
- Proponer medidas de prevención para la microcuenca Chemealón.

## **2. Metodología:**

### **2.1 Susceptibilidad de sitios por movimiento de laderas**

Con el uso de los sistemas de información geográfica (software libre Q'GIS 2.8), se hace uso del modelo de elevación digital (MED), curvas a nivel, orden del río (red hidrológica), ubicación de los sectores poblados, vías de acceso, entre otros; para la consolidación de la información cartográfica y morfométrica, del área de estudio y creación de los mapas de zonas funcionales de la microcuenca Chemealón.

Imagen 1: Criterios para la elaboración de mapa de zonas funcionales para la microcuenca Chemealón.



Fuente: Peña D, Ana; 2019

## 2.2 Susceptibilidad ambiental

Imagen 2: Criterios de análisis de susceptibilidad ambiental.



Fuente: Revista de vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG, 2011.

## 2.3 Susceptibilidad social:

Tabla 1. Cuadro de la amenaza.

Riesgos estimado	Valor estimado / justificación e información*		
¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia para la amenaza priorizada?	3 Alta	2 Media	1 Baja
¿Con qué magnitud (intensidad), la amenaza podría afectar el edificio escolar?	3 Alta	2 Media	1 Baja
¿Existen antecedentes o evidencia actual de amenazas naturales que puedan poner en riesgo de pérdida o daños el edificio	3 No existe evidencia	2 Existe poca evidencia	1 Existe bastante evidencia
¿Con cuánta información (memorias, estudios, datos) se cuenta para valorar las amenazas naturales en la zona?	3 No existe información	2 parcialmente	1 existe información

Referencia: criterios del proyecto MET-ALARM 2005



Tabla 2. Criterios para la identificación de deslizamientos.

Topología	Indicadores antecedentes	Indicadores potenciales
Geomorfológicos	Terreno en pequeñas depresiones relieve ondulado, existencia de escarpes y/o contrapendientes, etc.	Terrenos pequeñas depresiones, relieves ondulados, apertura de grietas del terreno.
Geológicos	Afloramiento de rocas alteradas en nichos de arranque, estructuras de formas irregulares, etc.	Planos de fracturación a favor de la pendiente, rocas alterada, estructuras formas irregulares, material deleznable
Hidrogeológico	Abundancia agua (zonas mayor verdor), saturación de suelos, aparición de pantanos en las partes medias y al pie de lugar, desviaciones de ríos.	Abundancia relativa de agua (zonas con mayor verdor), zonas nacimiento de agua. Suelos húmedos o mojados en tiempo continuo.
Vegetales	Existencia de plantas de zonas húmedas, troncos torcidos y/o inclinados, raíces tensas o rotas, discontinuidades repentinas de cobertura vegetal, etc.	Existencia de plantas típicas de zonas húmedas, raíces tensas, Árboles tumbados en la parte baja del tronco.
Estructurales	Postes inclinados, cables tensos o flojos, casas o construcciones agrietadas o inclinadas, cercos desplazados, etc.	
Toponimia	Nombre de lugares que pueden sugerir inestabilidad del terreno como ojo de agua, cerro partido etc.	
Históricos	Testimonios o documentos de eventos pasados.	

Fuente: Programa Municipal de Desarrollo, 2012.

Tabla 3 Criterio para identificación de los derrumbes.

Tipología	Indicadores Antecedentes	Indicadores Potenciales
Geomorfológicos	Existencia de conos coluviales o fragmentos angulosos, zonas de acumulación al del acantilado.	Zonas rocosas o acantilados de fuerte pendiente.
Geológicos	Afloramiento rocoso fuertemente fracturado, rocas alteradas.	
Hidrogeológicos	Ausencia de cubierta vegetal en zonas inactivas, por el contrario en zonas inactivas existe vegetación.	Presencia de árboles sobre las zonas rocosas.
Toponimia	Muchas áreas de derrumbes tienen nombres sugerentes como: derrumbaderos, el pedregal, las piedritas, etc.	
Históricos	Testimonios o documentos de eventos pasados	

Fuente: Metodología para el Análisis Local de Amenazas Naturales y Riesgos en Nicaragua ,2002.

### 3. Resultados:

Las condiciones de acceso, producto del primer acercamiento con el COCODE y auxiliatura, en septiembre de 2018, fueron:

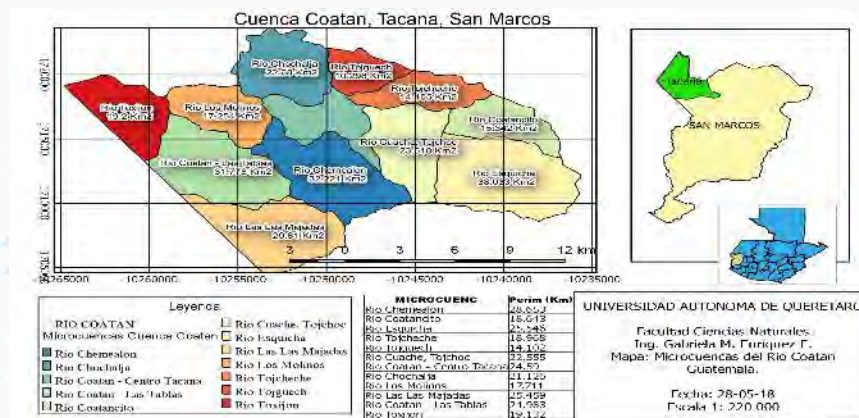
- No llevar ningún tipo de muestras de suelos, agua, vegetación o de rocas sin previa autorización en consejo.
- Visitas y contacto estrictamente con las autoridades de las localidades que se encuentran dentro de la microcuenca Chemealón.
- Respetar los días de plaza, no llegar en estos días ya que todos los comunitarios se concentran en la cabecera municipal.

- Cada recorrido se realizará solamente, con la compañía de una comitiva de autoridades locales de turno, del cual deberá contactar y coordinar agenda.

### 3.1 Área de estudio

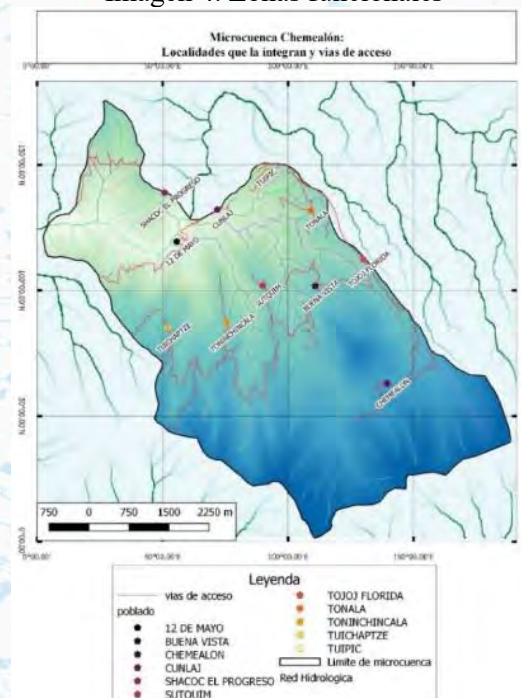
La microcuenca Chemealón integra la cuenca binacional Coatlán, con 270.62 km<sup>2</sup> en tierras guatemaltecas y desemboca en territorio mexicano (UICN, 2013). Esta microcuenca se ubica en el área político administrativa del municipio de Tacaná del departamento de San Marcos (DMP, 2010), y tiene una extensión de 32.19 km<sup>2</sup>. en el área se contabiliza 11 localidades. Según las proyecciones y el crecimiento poblacional del Instituto nacional de estadísticas del año 2,012, para el municipio de Tacaná se han calculado 314 habitantes por Km<sup>2</sup> para el año 2,018, de los que se proyecta un total de 10,108 habitantes distribuidos en las 11 localidades de la microcuenca Chemealón.

Imagen 3.: área de estudio, ubicación espacial



Fuente: extraído de base de datos UICN 2010.

Imagen 4. Zonas funcionales





### Aspectos morfométricos de la microcuenca Chemealón.

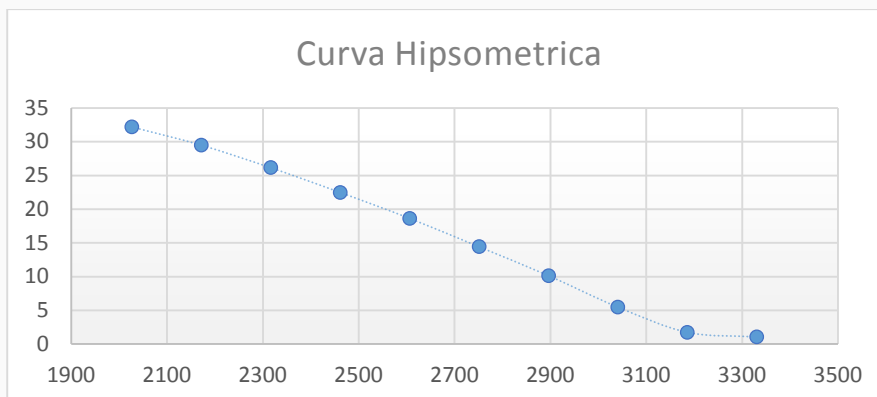
La microcuenca Chemealón presenta un relieve de laderas escarpadas, con pendientes pronunciadas que van del 50 al 60%, lo que genera mayor velocidad en la escorrentía superficial, donde se ve afectada la infiltración de agua a los mantos acuíferos, esto por la falta de cobertura forestal, que incrementa la erosión del suelo y vulnera la zona a deslaves (PDM, 2010).

Tabla 4 Características morfométricas de la microcuenca Chemealón.

<b>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES CUENCA CHEMEALÓN</b>		
Perímetros (Km)	P	28.63
Área (km <sup>2</sup> )	A	32.19
Longitud máxima (km)	LM	9.86
Longitud cauce principal (km)	LCP	12.77
Ancho de la cuenca	AC	3.26
Desnivel altitudinal (m)	DA	1449
<b>PARÁMETROS DE FORMA</b>		
Factor forma	FF	0.33
Coeficiente de compacidad	Kc	1.41
Coeficiente de circularidad	CC	0.49
<b>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DE RELIEVE</b>		
Cota máxima (msnm)	Cmax	3,403
Cota Mínima (msnm)	Cmin	1,954
Altitud media (msnm)	Am	2,721.22
Altitud más Frecuente (msnm)	Alt	3,040.75
Altitud mayor cauce	Amc	3,262
Altitud menor cauce	Amnc	1,954
Pendiente promedio de la cuenca (%)	Smed	11.35
<b>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE</b>		
Orden de la cuenca	OP	5
Longitud total drenaje (Km)	Lt	100
Densidad de drenaje	Dd	3.11 (cuenca mal drenada)
Frecuencia de drenajes	F	6.96
Drenaje orden 1		116
Coeficiente de torrencialidad	Ct	3.60 (alto poder erosivo)
Pendiente de cauce (%)	Pe	10.24
tiempo de concentración (horas)	Tc	1.06 (met. California Culvert-1942)

Fuente: SIG-QGIS 2.18, 2019; Base de datos UICN 2008, MAGA 2010.

Gráfica 1: Análisis de curva hipsométrica,



Fuente: Elaborado por Gabriela Enríquez, 2019

Tabla 5: Localidades y amenaza identificadas.

No	Localidad visitadas	P. Amenaza	O. Riesgo	Z. Funcional	Campo
1	Cunlaj	3	10	Zona media	Si
2	Tuipic	3	5		Si
3	12 de mayo	1	1	Zona baja	Si
4	Shacoc el progreso	-	-	Zona media	No
5	Buena vista	-	-		No
6	Tonalá	6	24		Si
7	Toninchincalaj	7	14		Si
8	Tuichapze	11	14		Si
9	Tojoj florida	-	-		No
10	Sutquim	-	-		No
11	Chemealón	-	-	Zona Alta	No

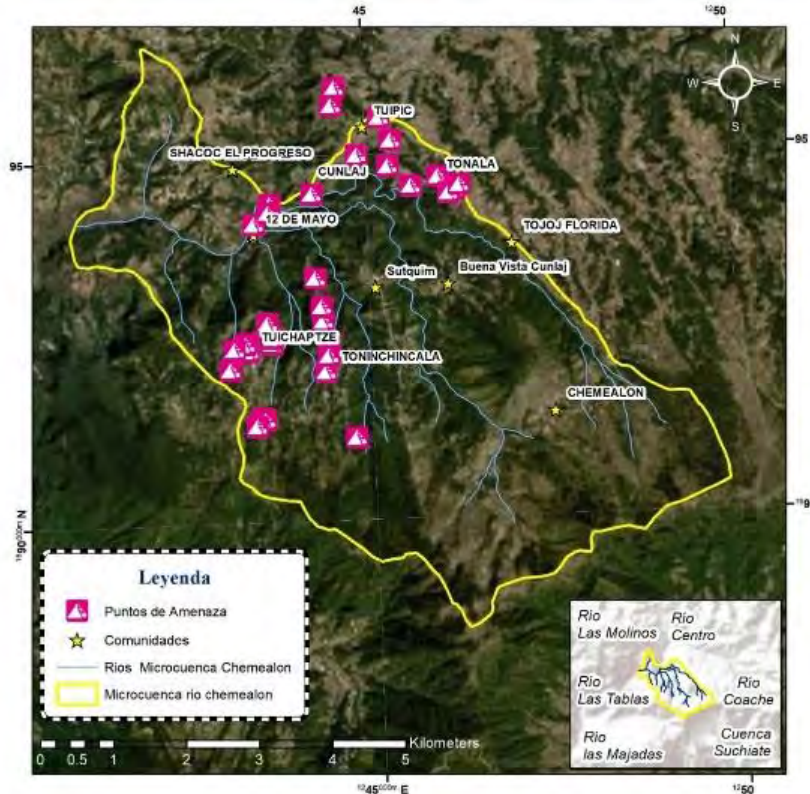
Fuente: trabajo de campo microcuenca Chemealón, Tacaná, San Marcos 2018.



## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES:

Imagen 5. Distribución de los puntos de amenaza por movimiento de laderas dentro de la cuenca Chemealón.

Fuente: trabajo de campo 2018.



El trabajo se evaluó en diferentes fases, la intensidad es una de las variables clave de esta investigación que nos ayuda a determinar el nivel de amenaza del punto, ya que combinada con las características históricas de los eventos extremos de la zona, y que junto a la morfometría de la cuenca e incidencia antrópica, es necesario contar con los siguientes factores:

$$\text{Intensidad} = f(\text{Fc} \times \text{Fd})$$

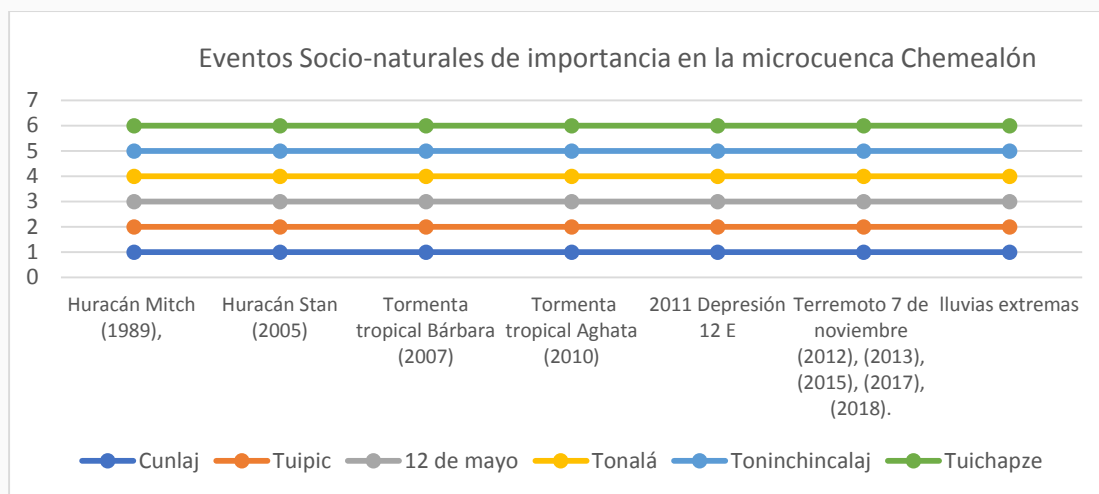
Factores condicionantes (Fc) =  $f$  (geología, geomorfología, hidrogeología, geotecnia y actividad humana)  
Factores desencadenantes (Fd) =  $f$  (precipitaciones, sismicidad, actividad humana, erosión al pie de pendientes, etc)

$$\text{Amenaza} = A = f \quad I \times P$$

Nivel de A =  $f$  (Intensidad x Probabilidad de ocurrencia)

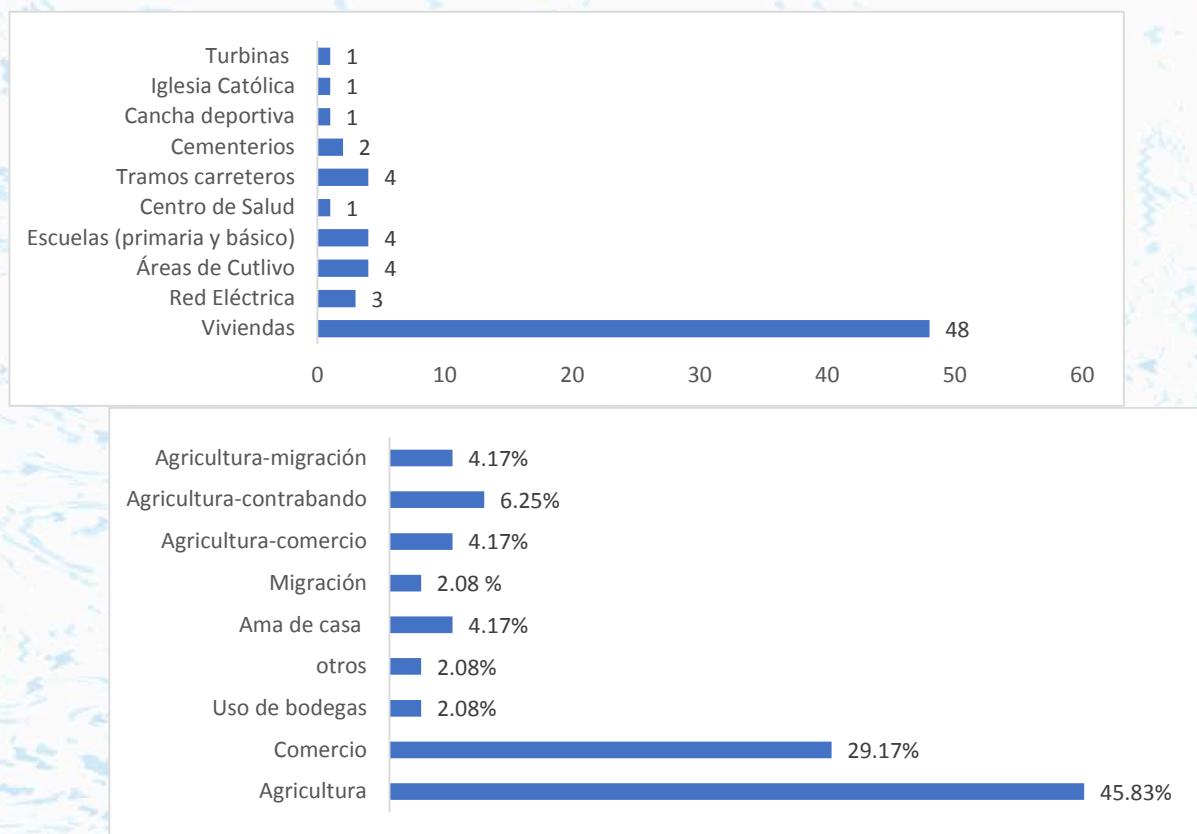
Intensidad (I) =  $f$  (velocidad de la masa, superficie afectada, volumen y grado de afectación, altura del talud, tamaño de bloques, etc)

Probabilidad (P) =  $f$  (actividad, causas condicionantes, causas desencadenantes)



Fuente: trabajo de campo 2018

Para establecer la vulnerabilidad se tomaron las condiciones actuales de cada objeto, y de cada lugar amenazado. Prestando atención a las características del terreno, cercanía del objeto amenazado, condición socio-económica del núcleo familiar, organización local en la capacidad de respuesta ante la amenaza (ver Anexo).



#### Nivel de riesgo por deslizamiento de laderas, microcuenca Chemealón

Para establecer el nivel de riesgo que representa cada punto de amenaza identificado en la microcuenca Chemealón, fue necesario establece tres variables importantes las cuales son empleadas en la siguiente manera:



$$R=(A*V)/OL$$

R= Riego, A\*=Amenaza, V\*\*= Vulnerabilidad, OL\*\*\*= Organización Local

A continuación se ha estructurado un semáforo de riesgo por movimiento de laderas para la microcuenca Chemealón, que establece rangos y criterios tomados para la clasificación de los niveles de riesgo para cada punto.

SÉMAFORO DE RIESGO POR MOVIMIENTO DE LADERAS PARA MICROCUENCA CHEMEALÓN					
Rangos establecidos	Escala	Clasificación	Subdivisión de rangos	Rango Mínimo	Rango Máximo
Bajo	1		Muy bajo	0.0	0.5
			Bajo	0.5	1.0
Medio	2		Moderado	1.1	1.5
			Notable	1.5	2.0
Alto	3		Alto	2.1	2.5
			Muy alto	2.5	3.0

Fuente: Elaboración propia

Por fines prácticos se realiza la clasificación de los rangos de riesgo, bajo criterios del evaluador. Del cual se rige y establece el resultado de la clasificación de cada punto y objeto evaluado en esta investigación. A continuación se presenta el análisis de riesgo de la microcuenca Chemealón, por punto identificado y objeto expuesto en el lugar.

Tabla 6: Nivel de riesgo por movimiento de laderas en la microcuenca Chemealón

Aldea Cunlaj					
Clave-punto A	Objetos	A*	V**	O.L***	Riesgo
1-CC-ZB-HVC	Vivienda 1	1.99	2.19	2.1	<b>2.08</b> <b>Alto</b>
	Vivienda 2		1.82		<b>1.72</b> <b>Medio</b>
	Vivienda 3		1.77		<b>1.68</b> <b>Medio</b>
	Vivienda 4		1.28		<b>1.21</b> <b>Medio</b>
	Vivienda 5		1.41		<b>1.34</b> <b>Medio</b>
2-CC-ZB-MC	Vivienda 1	2.25	1.85	1.5	<b>2.78</b> <b>Alto</b>
	Vivienda 2		1.51		<b>2.27</b> <b>Alto</b>
	Vivienda 3		1.41		<b>2.12</b> <b>Alto</b>
	Tramo carretero		1.51		<b>2.27</b> <b>Alto</b>
3-CC-ZB-RCpB	Vivienda 1	2.07	1.49	1.9	<b>1.62</b> <b>Medio</b>
Caserío Tuipic					
Clave-punto A	Objetos	A*	V**	O.L***	Riesgo
4-T-ZB-ATC	Vivienda 1	2	1.82	2	<b>1.82</b> <b>Medio</b>
	Vivienda 2		1.82		<b>1.82</b> <b>Medio</b>
	Vivienda 3		2.09		<b>2.09</b> <b>Alto</b>

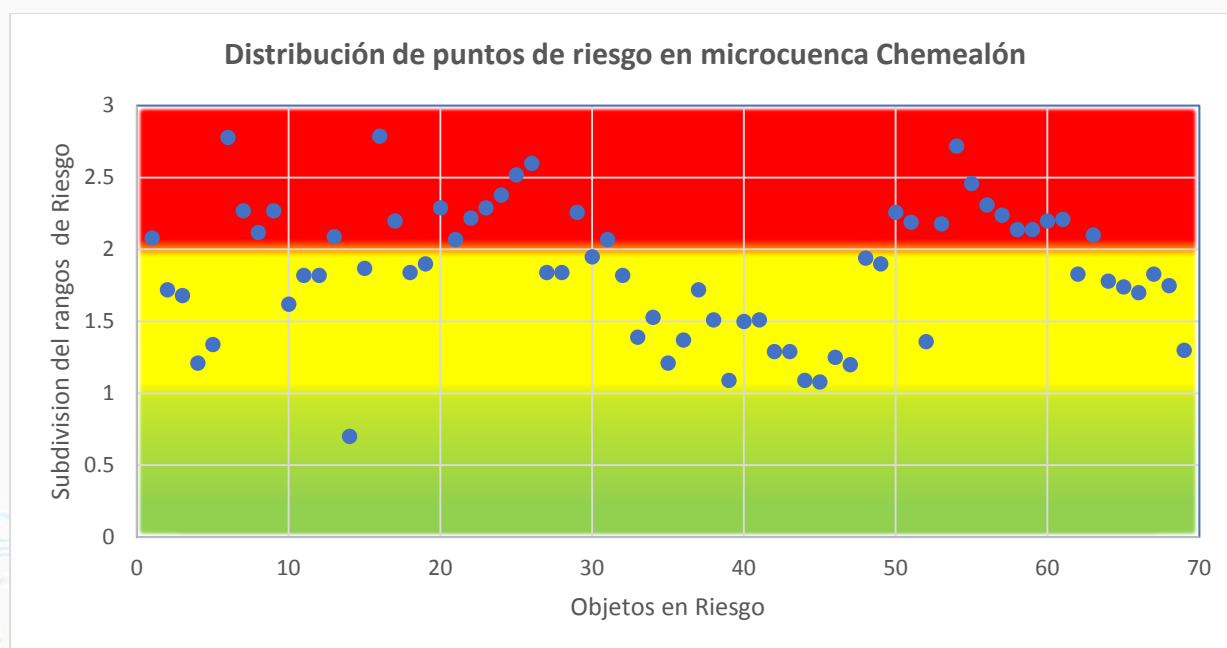
5-T-ZB-DL(G)	Vivienda 1	1.17	1.19	2	0.70	Bajo
6-T-ZB-CC	Vivienda 1	1.97	1.9	2	1.87	Medio
Caserío 15 de mayo						
Clave-punto A	Objetos	A*	V**	O.L***	Riesgo	
7-12M-ZB-TEE	Turbinas	2.04	1.64	1.2	2.79	Alto
Caserío Tonala						
Clave-punto A	Objetos	A*	V**	O.L***	Riesgo	
8-TO-ZM-VAT	Vivienda 1	2.15	1.94	1.9	2.20	Alto
9-TO-ZM-CC	Vivienda 1	2.57	1.79	2.5	1.84	Medio
	Vivienda 2		1.85		1.90	Medio
	Vivienda 3		2.23		2.29	Alto
	Vivienda 4		2.01		2.07	Alto
	Vivienda 5		2.16		2.22	Alto
	Vivienda 6		2.23		2.29	Alto
	Iglesia Católica		2.32		2.38	Alto
	Escuela		2.45		2.52	Alto
	Canchas deportiva		2.53		2.60	Alto
	Camino		1.79		1.84	Medio
10-TO-ZM-DAT	Vivienda 1	1.92	2.01	2.1	1.84	Medio
	Vivienda 2		2.47		2.26	Alto
	Vivienda 3		2.13		1.95	Medio
	Área de cultivo		1.99		1.82	Medio
11-TO-ZM-EPM	Vivienda 1	1.68	1.82	2.2	1.39	Medio
	Vivienda 2		2.01		1.53	Medio
	Área de cultivo		1.58		1.21	Medio
12-TO-ZM-HTT	Vivienda 1	1.79	1.49	1.95	1.37	Medio
	Vivienda 2		1.87		1.72	Medio
	Vivienda 3		1.65		1.51	Medio
	Área de cultivo		1.19		1.09	Medio
13-TO-ZM-NBT	Vivienda 1	1.9	1.58	2	1.50	Medio
	Vivienda 2		1.59		1.51	Medio
Caserío Toninchincalaj						
Clave-punto A	Objetos	A*	V**	O.L***	Riesgo	
14-TON-ZM-PP	Vivienda 1	1.93	1.4	2.1	1.29	Medio
	Vivienda 2		1.4		1.29	Medio
15-TON-ZM-IC	Vivienda 1	1.85	1.27	2.15	1.09	Medio
	Vivienda 2		1.26		1.08	Medio
	Vivienda 3		1.45		1.25	Medio
16-TON-ZM-C	Ent. cementerio	1.57	1.53	2	1.20	Medio
17-TON-ZM-EP	Vivienda 1	2.35	1.9	2.3	1.94	Medio



	Vivienda 2		1.86		1.90	Medio
	Escuela		2.21		2.26	Alto
	Camino		2.14		2.19	Alto
18-TON-ZM-TCT	Infraestructura	1.65	1.98	2.4	1.36	Medio
19-TON-ZM-S12MY	Vivienda 1	1.81	2.41	2	2.18	Alto
20-TON-ZM-TC	Tra. carretero 1	2.39	2.28	2	2.72	Alto
	Tra. carretero 2		2.06		2.46	Alto
Caserío Tuichapze						
Clave-punto A	Objetos	A*	V**	O.L***	Riesgo	
21-TUI-ZM-Aux	Vivienda 1	2.32	2.11	2.5	1.96	Medio
	Vivienda 2		1.9		1.76	Medio
22-TUI-ZM-Ebas	Centro de Salud	2.04	2.27	2.1	2.21	Alto
	Escuela básico		2.27		2.21	Alto
23-TUI-ZM-Epri	vivienda 1	2.04	2.05	2.5	1.67	Medio
	Escuela primaria		2.08		1.70	Medio
24-TUI-ZM-TRT	Área de cultivo	1.53	2.01	1.95	1.58	Medio
25-TUI-ZM-TC	Vía de acceso	2.43	2.07	1.8	2.79	Alto
26-TUI-ZM-VCen	Vivienda 1	1.5	1.87	1.97	1.42	Medio
27-TUI-ZM-VSM	Vivienda 1	1.36	2.06	1.8	1.56	Medio
28-TUI-ZM-VTC	Vivienda 1	1.38	1.81	1.9	1.31	Medio
29-TUI-ZM-VPA	Vivienda 1	1.83	1.56	2.1	1.36	Medio
30-TUI-ZM-VBV	Vivienda 1	1.42	1.63	2.2	1.05	Medio
31-TUI-ZM-CP	Red Eléctrica	1.81	1.65	2.3	1.30	Medio

Fuente: análisis de información de campo, 2019

En esta parte se evidencia el estado de perturbación de la microcuencia y del peligro, que representa cada punto evaluado y ponderado referente a deslizamiento de laderas. Por lo tanto en la siguiente gráfica, se realiza la representación de la distribución del nivel de riesgo por movimiento de laderas, en base a la subdivisión del rango, mismo que identifica los puntos de mayor atención para este estudio.



### **Prácticas implementada por pobladores de la microcuenca Chemealón**

Las prácticas establecidas en la zona por parte de los pobladores presentan diferentes fines, principalmente la conservación de recursos locales los que destacan: viviendas, cultivos, alimentos, ganadería, social, bosques y recursos naturales.

Tema estructural - viviendas:

- Reconstrucción de viviendas particulares en otros sitios.
- Reconstrucción de viviendas en el mismo lugar, empleando diferente material o la combinación de ellos: madera, ladrillo, hierro, y adobe.
- Reforzamiento de columnas, bigas, techos y paredes de las viviendas.
- Reconstrucción de escuelas, iglesias y salones comunales.

Recursos naturales:

- Reforestaciones en la parte alta de los cerros en bosques comunales y bosques privados.
- Circulación de fuentes de agua para consumo humano (evitar el ingreso de ganado que contamine el afluente).
- Prácticas de saneamiento de bosques de coníferas por presencia de gorgojo de pino.

Suelos, cultivos y ganadería menor:

- Prácticas de conservación de suelos: cultivos en contorno, barreras vivas y barreras muertas (mixtas), curvas a nivel, terrazas, zanjas de infiltración.
- Reducción del pastoreo de ganado menor en algunas zonas.
- Circulación de terrenos con especies: Ortigas, Miché, izoté y arrayán. Generan beneficio de retención de suelos, mojones, forraje de ganado y alimento de personas y medicinales.
- Construcción de cercos con Izoté del cual se aprovecha como alimento.
- Preparación de abonos verdes y productos orgánicos para autoconsumo.
- Implementación de prácticas agrosilvopastoriles.

Organización:



- Organización local COLRED<sup>24</sup>, que está conformada por comunitarios y representantes de auxiliatura y COCODE.
- Se ha propuesto en algunas localidades, evitar la apertura de minas extractoras de arenas para la construcción de viviendas, pero aún no se concretan.
- Ingreso a proyectos forestales como: proyectos de conservación, protección de bosques naturales, aprovechamiento forestal, consumo familiar y de saneamiento.
- Generación de proyectos productivos: hortalizas, flores de corte, viveros forestales y frutales.
- Comités locales activos (agua, salud, seguridad entre otros).
- Comisión de transportistas para procesos de limpieza de tramos carreteros en emergencias.

#### **4. Bibliografía:**

Ruiz, N. (2012). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 1-12

CONRED. (2015). Guía didáctica para el uso de rota folio "Gestión para la reducción del riesgo a desastres" -GRRD-. *CONRED*, 2-44.

Copons Llorens, R., & Tallada Masquef, A. (s.f.). Movimiento de laderas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*.

COSURE, I. (2005). *Proyecto MET-ALARN*. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Managua. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.

Facultad Antropología Forense de Guatemala. (2006). Informe de daños.

Gaspari, F., Vagaría, R., Delgado, A., Senisterra, G., & Denegri, G. (2011). VULNERABILIDAD AMBIENTAL EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS SERRANAS MEDIANTE SIG. *Multequina*, 1-12.

Hernández, R. B. (2016). Metodología de diagnóstico participativo con cartografía social. *Método Participativo*.

---

24 COLRED: Coordinadora Local de Reducción de Desastres (DMP, 2010).

## ID-124: EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE CLIMÁTICA EN ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE AVENIDAS DE DISEÑO

Mariana CASTAÑEDA GONZÁLEZ <sup>a</sup>, Annie POULIN<sup>a</sup>, Rabindranarth Romero López<sup>b</sup>, Richard TURCOTTE<sup>c</sup>

<sup>a</sup> École de technologie supérieure, 1100 Notre-Dame Street West, Montreal, H3C 1K3 Canadá,  
mariana.castaneda-gonzalez.1@ens.etsmtl.ca, annie.poulin@etsmtl.ca

<sup>b</sup> Universidad Veracruzana, Lomas del Estadio S/N, Zona Universitaria, Xalapa, 91000, México  
rabromero@uv.mx

<sup>c</sup> Ministère du développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques, 675  
boulevard René Lévesque Est, Quebec, Quebec, G1R 5V7, Canadá,  
richard.turcotte2@environnement.gouv.qc.ca

### RESUMEN

Este estudio presenta la evaluación de la incertidumbre en el análisis de frecuencia de avenidas de diseño proveniente de las simulaciones de modelos climáticos globales (MCG) y modelos climáticos regionales (MCR). Para ello, se utilizaron veinticinco simulaciones climáticas globales y cuatro simulaciones climáticas regionales que cubren el periodo de referencia de 1976 a 2005 y dos periodos futuros, 2041 a 2070 y 2070-2099. Las simulaciones climáticas se llevaron a cabo con veinticinco MCGs de la quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5, por sus siglas en inglés) a diferente resolución espacial (0.75°-3.75°) bajo los escenarios de emisión RCP 4.5 y 8.5. Las cuatro simulaciones climáticas regionales se llevaron a cabo con el MCR canadiense versión 5 (CRCM5, por sus siglas en inglés) a más altas resoluciones espaciales (0.22° y 0.44°) bajo el escenario de emisión RCP 8.5. La modelación hidrológica se realizó en diez cuencas mexicanas con tres modelos hidrológicos globales con diferente nivel de complejidad, GR4J con 6 parámetros, MOHYSE con 10 parámetros y HMETs con 21 parámetros. Finalmente, el análisis de frecuencia de avenidas se aplicó en cada cuenca para simular el periodo de referencia y los dos horizontes futuros y evaluar las diferencias entre seis diferentes periodos de retorno: 2 años, 5 años, 10 años, 20 años, 50 años y 100 años. La diferencia entre periodos de retorno de referencia y los de horizontes futuros fueron comparados usando el error relativo porcentual y la incertidumbre fue evaluada con el método de descomposición de varianza. Los resultados muestran la considerable sensibilidad del análisis de frecuencia de avenidas de diseño a simulaciones climáticas globales y regionales (de 30 a 80%) en las diferentes cuencas mexicanas, subrayando la importancia de usar ensambles de MCGs y MCRs para proyecciones hidrológicas.

**Palabras clave:** Incertidumbre, frecuencia de avenidas; simulaciones climáticas; modelación hidrológica; inundaciones.

### 1 INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, el ciclo hidrológico ha mostrado cambios en la ocurrencia y magnitud de eventos hidrológicos alrededor del mundo. Año tras año, eventos hidrológicos extremos tales como las inundaciones, impactan México y el mundo causando enormes pérdidas sociales, ambientales y económicas. Aunado a ello, la comunidad científica ha sugerido con gran certeza que el cambio climático continuará impactando el ciclo hidrológico en el futuro (Grey & Sadoff, 2007; IPCC, 2013). Sin embargo, la confianza en las proyecciones futuras de inundaciones es aún baja debido al considerable número de incertidumbres involucradas en el proceso de la modelación hidro-climática (Kundzewicz et al., 2018). Entre las fuentes de incertidumbre más relevantes en la simulación de inundaciones se encuentran los modelos climáticos globales (MCG), los modelos climáticos regionales (MCR) y los diferentes modelos hidrológicos usados para la simulación de caudales. Diferentes estudios se han realizado en diferentes zonas de Europa y América del Norte mostrando el considerable impacto de los modelos climáticos e hidrológicos en la simulación de caudales (Bosshard et al., 2013; Roberts & Snelgrove, 2015). Adicionalmente, estas fuentes de incertidumbre climática e hidrológica no solo impactan la simulación de caudales, sino que pueden impactar el análisis de frecuencia de avenidas de diseño, un proceso altamente usado para análisis de riesgos y diseño de infraestructuras, subrayando la necesidad de cuantificar esta fuente de



incertidumbre. Por ello, la evaluación de la sensibilidad del análisis de frecuencia de avenidas con respecto al uso de simulaciones climáticas a escala global y regional es de gran importancia para la creación de proyecciones hidrológicas robustas. Sin embargo, hasta el conocimiento de los autores, no se han realizado estudios que cuantifiquen la incertidumbre climática en la simulación de inundaciones en cuencas mexicanas. Por este motivo, esta investigación tiene como objetivo evaluar la incertidumbre climática proveniente de simulaciones climáticas globales y regionales en el análisis de frecuencia de avenidas de diseño.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Sitio de estudio

Este estudio se llevó a cabo en diez cuencas mexicanas con una variedad de condiciones climáticas e hidrológicas (ver figura 1). Las series de datos hidrométricos y climatológicos de las cuencas fueron obtenidas a través de diferentes organismos e instituciones mexicanas. Los datos climatológicos se obtuvieron del sistema de Clima Computarizado CLICOM (2019) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Los datos hidrométricos se obtuvieron de la base de datos Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS; IMTA (2019)) así como de bases de datos internas del Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA) y el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Las diez cuencas seleccionadas cuentan con un mínimo de 30 años de datos históricos hidrométricos y climatológicos en el periodo de 1960 a 2011.

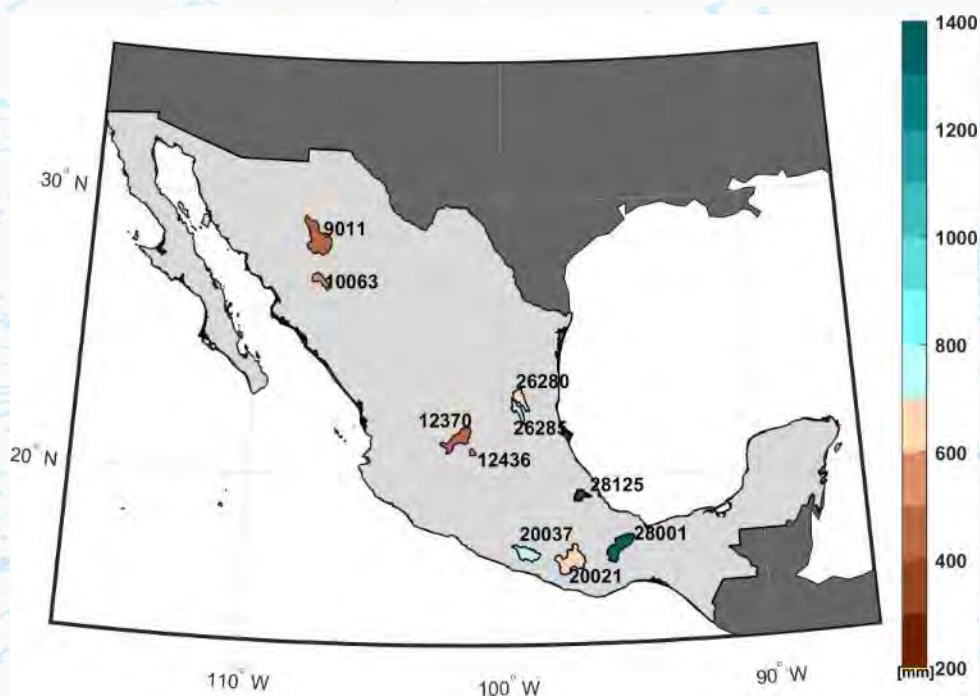


Figura 1. Ubicación y precipitación media anual (mm) de las 10 cuencas utilizadas en este estudio.

### 2.2 Simulaciones climáticas

Las simulaciones climáticas globales provienen de veinticinco MCGs de la quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5, por sus siglas en inglés) a diferente resolución espacial que varía de 0.75° a 3.75° (Eyring et al., 2016). Entre ellos se encuentran modelos como el CanESM2, CMCC-CMS, CNRM-CM5, CSIRO-Mk3.6, GFDL-ESM2, GISS-E2-R, entre otros. Las veinticinco simulaciones climáticas globales fueron simuladas bajo los escenarios de emisión RCP 4.5 y 8.5. Las simulaciones climáticas regionales fueron realizadas con el MCR canadiense (MCRC) versión 5 (CRCM5, por sus siglas en inglés) a dos resoluciones

diferentes, tres simulaciones a 0.22° y una a 0.44° (Whan & Zwiers, 2016). El MCRC5 fue corrido con tres MCGs diferentes mostrados en el cuadro 1. Estos modelos fueron usados para alimentar las condiciones de frontera para las simulaciones del MCRC para el periodo de 1976 a 2099 bajo el escenario de emisión RCP 8.5, el escenario de emisión con el nivel más alto de gases a efecto invernadero (IPCC, 2013). El dominio espacial para las simulaciones cubre de latitud 40°N a 20°S y de longitud 23°W a 126°W cubriendo el territorio mexicano por completo.

**Cuadro 1.** Descripción de las simulaciones climáticas regionales consideradas en este estudio

Numero	MCR	MCG piloto	Resolución espacial(°)
1	CRCM5	GFDL-ESM2M	0.22
2		CNRM-CM5	0.22
3			0.22
4		CanESM2	0.44

## 2.2 Modelización hidrológica

La modelización hidrológica se llevó a cabo con tres modelos hidrológicos con diferentes estructuras y niveles de complejidad. El modelo **GR4J** (modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journaliers que significa, modelo de ingeniería rural diario con cuatro parámetros) es un modelo simple, global y empírico de lluvia-escorrentía desarrollado por Perrin et al. (2003) que se ha utilizado para diferentes aplicaciones en cuencas de América del Norte (Arsenault et al., 2018; Chen et al., 2018; Troin et al., 2018). Este modelo se creó inicialmente para aplicaciones relacionadas con la gestión del agua con únicamente 4 parámetros y sin un módulo de simulación de nieve. Posteriormente, se agregó el módulo de nieve con el modelo CemaNeige (Valéry et al., 2014) para permitir aplicaciones en regiones basadas en nieve, agregando 2 parámetros que hacen 6 parámetros en total. Para este proyecto se utilizó la formulación de evaporación de Oudin (Oudin et al., 2005). Los datos de entrada requeridos para su aplicación consisten en series continuas de precipitación diaria, temperatura media y evapotranspiración potencial previamente calculada. El modelo **MOHYSE** (Modèle Hydrologique Simplifié à l'Extrême que significa, modelo hidrológico simplificado al extremo) es un modelo simple y conceptual creado por Fortin & Turcotte (2006). Este modelo hidrológico se ha aplicado sobre diferentes cuencas canadienses y mexicanas para diferentes estudios como Thiboult et al. (2016) y Zavaleta et al. (2015). MOHYSE simula los principales procesos hidrológicos utilizando 10 parámetros diferentes y puede utilizarse actualmente para diferentes escalas de tiempo, como diario u horario. Los datos de entrada para este modelo hidrológico consisten en temperaturas diarias medias, lluvia diaria total y nieve diaria total. El modelo **HMETs** (Hydrological Model- École de technologie supérieure que significa Modelo Hidrológico- Escuela Superior de Tecnología) desarrollado por Martel et al. (2017) es un modelo conceptual simple con 21 parámetros para calibrar. La estructura de este modelo hidrológico describe el flujo superficial, el flujo retardado, el flujo hipodérmico y el flujo de agua subterránea. Su estructura se basa en dos depósitos que simulan las zonas vadosas y las zonas freáticas. El deshielo se simula mediante el proceso de fusión y congelación de la capa de nieve (Arsenault et al., 2018). Para la evapotranspiración potencial, este modelo hidrológico utiliza la formulación de Oudin, la misma formulación que se utiliza para el modelo GR4J, y los datos de entrada requeridos son precipitación diaria continua, temperatura máxima y mínima y la evapotranspiración potencial calculada.

### 2.2.1 Calibración y validación



La calibración de los modelos hidrológicos se realizó en los años impares y la validación en los años pares del período disponible en cada cuenca, lo que permite tomar en cuenta la variabilidad climática (Essou et al., 2017). La calibración de los parámetros se realizó con el algoritmo de optimización *CMAES* (Hansen & Ostermeier, 1997) en los tres diferentes modelos hidrológicos y las diez cuencas. La calibración y validación de los tres modelos hidrológicos se realizó con la función objetivo basada en el criterio de Kling-Gupta Efficiency (KGE; Gupta et al., 2009). El KGE es una medida de bondad de ajuste que se basa en el sesgo, la varianza y la correlación y fue modificado recientemente por Kling et al. (2012). El indicador KGE describe la diferencia entre la unidad y la distancia euclidiana (DE) desde el punto ideal en un espacio tridimensional y se calcula de la siguiente manera (ecuaciones (1.1) – (1.4)):

$$KGE = 1 - ED \quad (1.1)$$

$$ED = \sqrt{(r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2} \quad (1.2)$$

$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_o} \quad (1.3)$$

$$\gamma = \frac{CV_s}{CV_o} = \frac{\sigma_s/\mu_s}{\sigma_o/\mu_o} \quad (1.4)$$

Donde  $r$  representa el coeficiente de correlación entre el caudal observado y el simulado,  $\beta$  representa la relación de sesgo y  $\gamma$  representa la relación de variabilidad. El  $\mu$  representa caudal medio,  $CV$  es el coeficiente de variación y  $\sigma$  representa la desviación estándar del caudal. El subíndice "o" denota los datos observados y el subíndice "s" denota los datos simulados. Los valores de KGE varían de  $-\infty$  hasta 1, donde 1 indica un nivel de ajuste perfecto. De acuerdo con estudios previos, valores de KGE mayores a 0.7 son considerados como buenos o muy buenos niveles de ajuste y precisión (Crochemore et al., 2015; Huang et al., 2017).

### 2.3 Análisis de periodos de retorno

Después de la calibración y validación de los modelos hidrológicos, se realizó la modelación hidrológica de cada cuenca con los diferentes datos de entrada obtenidos de los veinticinco MCGs y las cuatro simulaciones del MCRC, haciendo un total de 29 simulaciones por cada modelo hidrológico y por cada cuenca hidrológica. Posteriormente, se llevó a cabo el análisis de frecuencia de avenidas para obtener los caudales punta asociados a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años utilizando la función de distribución de Gumbel para ajustarse a cada una de las series de caudales máximos anuales simulados de las diez cuencas. La distribución Gumbel fue seleccionada para este análisis, ya que es una distribución que se ha usado con frecuencia en hidrología superficial para representar las distribuciones de los caudales máximos debido a sus comúnmente robustas aproximaciones y simplicidad de uso (Chebana & Ouara, 2011; Loaigiga & Leipnik, 1999; Marques et al., 2015). El ajuste de la distribución Gumbel fue visualmente verificado en cada cuenca (resultados no mostrados). Los seis periodos de retorno obtenidos fueron estimados para el periodo de referencia de 1976 a 2005 y los dos horizontes futuros de 2041 a 2070 y 2070 a 2099. La evaluación de los periodos de retorno entre los diferentes periodos se llevó a cabo calculando el error (sesgo) relativo porcentual entre cada periodo de retorno de referencia y el mismo periodo de retorno de cada horizonte futuro. El error relativo porcentual se calculó de la siguiente manera (ecuación (2.1)):

$$E_{rel}(\%) = \frac{X - Y}{Y} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

donde el valor  $X$  (i.e. el periodo de retorno del horizonte futuro) se compara con  $Y$ , el valor, utilizado como conjunto de datos de referencia (i.e. el periodo de retorno de referencia). Esta medida fue seleccionada para evaluar la diferencia de los periodos de retorno de las simulaciones de referencia y las simulaciones de cada horizonte futuro.

## 2.4 Descomposición de la varianza

El análisis de incertidumbre consiste en el método de descomposición de la varianza. Este método permite aislar y comparar las magnitudes de cada fuente de incertidumbre involucrada en la cadena de procesos climáticos e hidrológicos. Este método descrito anteriormente por Déqué et al. (2007) se puede representar de la siguiente manera:

$$V(X_{GRH}) = G + R + H + GR + GH + RH + GRH \quad (2.2)$$

donde la varianza de  $X$  (i.e. el caudal asociado al periodo de retorno dado) está influenciada por las fuentes de incertidumbre  $G$  (MCGs y MCRs),  $R$  (Referencia, RCP 45 y 85),  $H$  (modelos hidrológicos). Por ejemplo, suponiendo que  $G$  varía de 1 a 29,  $R$  varía de 1 a 3 y  $H$  varía de 1 a 3. La fuente  $G$  puede expresarse como:

$$G = \frac{1}{29} \sum_{G=1}^{29} (X_{G^{\circ\circ\circ}} - X^{\circ\circ\circ\circ})^2 \quad (2.3)$$

$$GR = \frac{1}{87} \sum_{G=1}^{29} \sum_{R=1}^3 (X_{GR^{\circ\circ}} - X_{G^{\circ\circ\circ}} - X_{R^{\circ\circ\circ}} - X^{\circ\circ\circ\circ})^2$$

donde los puntos (°) representan el promedio del índice que ha sustituido. Por lo tanto, la varianza total asociada a la fuente  $G$  se puede expresar como:

$$V(G) = G + GR + GH + GRH \quad (2.4)$$

Cada término puede representarse como porcentajes de la varianza y la magnitud indica el impacto de cada fuente de incertidumbre en el valor dado  $X$ . Este método se ha utilizado para cuantificar la incertidumbre en diversos estudios climáticos e hidrológicos que respaldan su uso en este estudio (Aryal et al., 2018; Troin et al., 2018).

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Modelización hidrológica

La figura 2 muestra los resultados de la modelización hidrológica de las diez cuencas mexicanas con los tres diferentes modelos hidrológicos. En el panel a) se muestran las distribuciones de los valores de ajuste del criterio KGE para la calibración (azul oscuro) y la validación (azul claro). En la imagen se muestra que el nivel de ajuste y precisión de los modelos hidrológicos es muy bueno y satisfactorio con valores de la mediana por arriba del 0.75. En la calibración se observa que HMETS tiene un mayor nivel de ajuste. En validación los tres modelos muestran valores de mediana muy similares. En el panel b) se muestra la comparación de los valores de KGE obtenidos en la calibración contra los valores obtenidos en validación. Se puede observar la diferencia de la precisión de los modelos en el periodo de calibración y validación para cada cuenca. Se observan diferencias entre los resultados de cada modelo, donde el modelo GR4J muestra mayor consistencia en los valores de calibración y validación en las diferentes cuencas. Por otro lado, los modelos MOHYSE y HMETS muestran una mayor



diferencia entre los valores de calibración y validación, especialmente el modelo HMETS. Los tres modelos muestran valores de nivel de ajuste altos y con base en Crochemore et al. (2015) son considerados muy buenos.

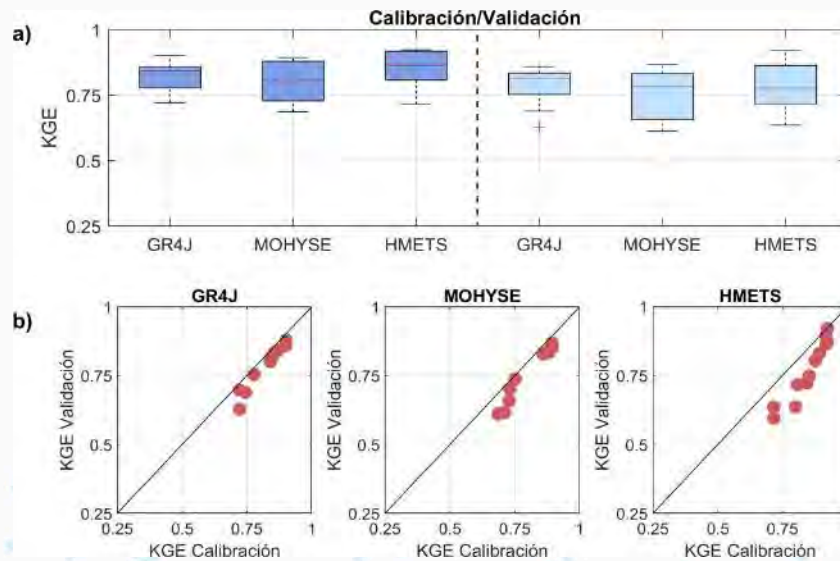


Figura 2. Valores de bondad de ajuste KGE para los años de calibración (azul oscuro) y validación (azul obscuro). El panel a) presenta los diagramas de caja de la calibración y validación de los tres modelos hidrológicos. En el panel b), se comparan los valores de KGE en calibración contra los valores de KGE en validación para cada cuenca.

### 3.2 Análisis de periodos de retorno

Las figuras 3 y 4 presentan la comparación entre los periodos de retorno de referencia y los de horizontes futuros.

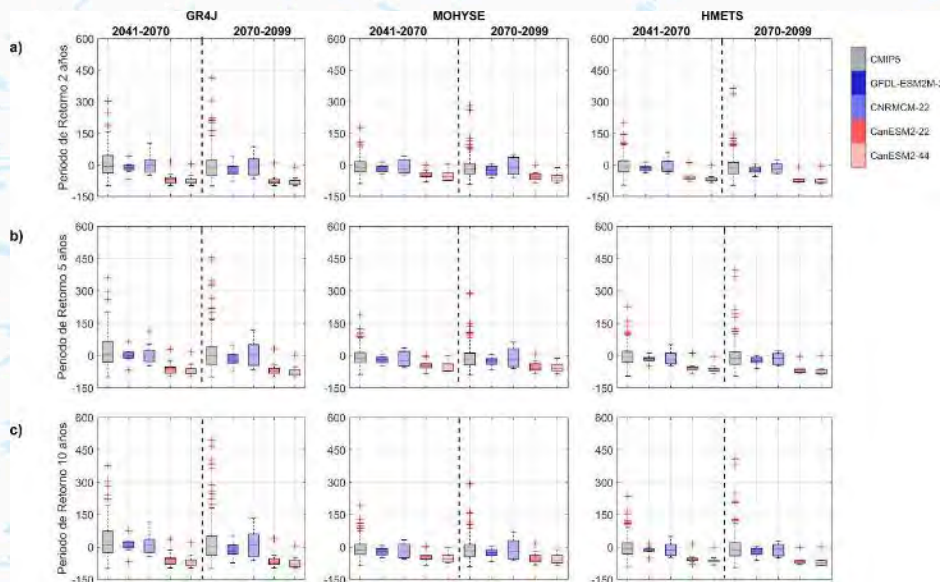


Figura 3. Error relativo porcentual (%) entre periodos de retorno en el periodo de referencia y los horizontes futuros (2041-2070 y 2070-2099) de cada modelo hidrológico y simulación climática. Los paneles a), b) y c) presentan los valores para el periodo de retorno de 2 años, 5 años y 10 años respectivamente.



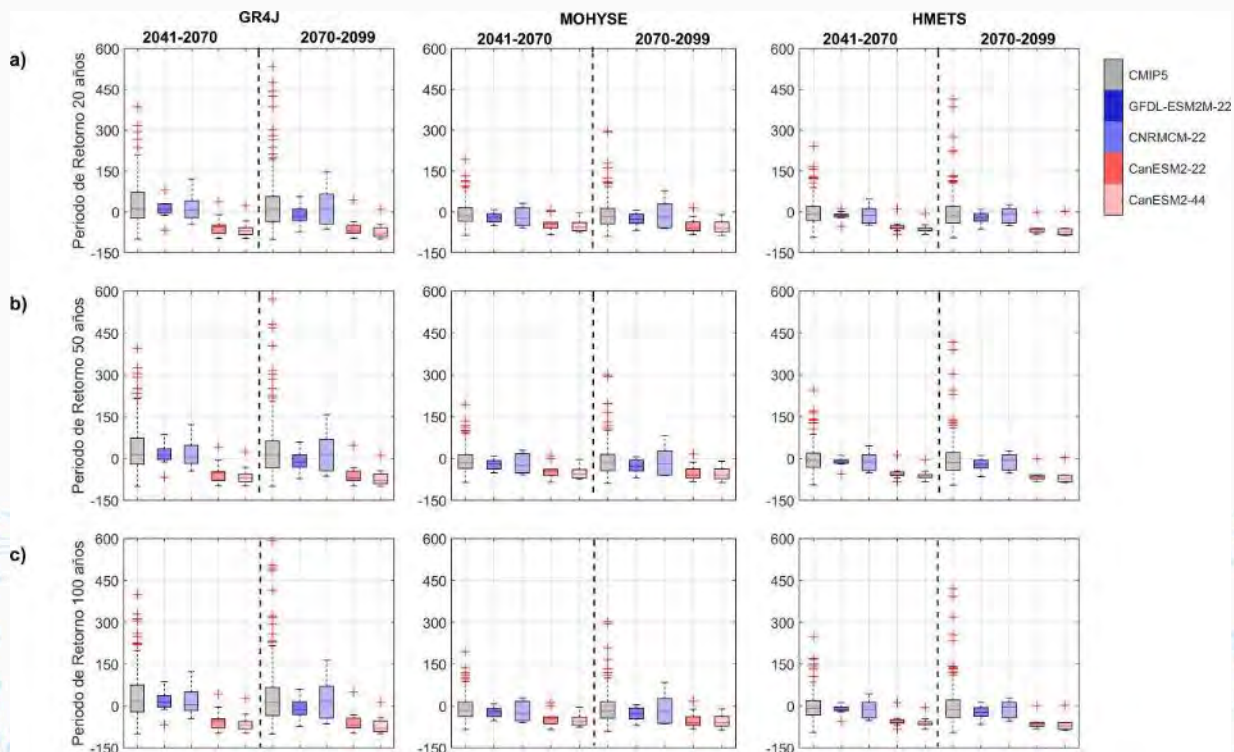


Figura 4. Error relativo porcentual (%) entre periodos de retorno en el periodo de referencia y los horizontes futuros (2041-2070 y 2070-2099) de cada modelo hidrológico y simulación climática. Los paneles a), b) y c) presentan los valores para el periodo de retorno de 20 años, 50 años y 100 años respectivamente.

En las figuras 3 y 4 los errores relativos porcentuales obtenidos entre las simulaciones climáticas globales se presentan en las distribuciones representadas con los diagramas de caja de color gris. Las comparaciones de las cuatro simulaciones del MCRC están mostradas en diferentes tonos de azul y rojo. Los resultados muestran que las diferencias de los seis periodos de retorno mostrados en la figura 3 (2, 5 y 10 años) y la figura 4 (20, 50 y 100 años) tienen distribuciones similares en los dos horizontes futuros, particularmente al observar la mediana. Las diferencias entre los periodos de retorno de 2, 5 y 10 años muestran en su mayoría valores cerca o por debajo de cero indicando que la mediana de estos periodos de retorno muestra pequeños cambios en los dos horizontes futuros. Esto se observa con las simulaciones de los modelos globales y las simulaciones regionales piloteadas por el modelo GFDL-ESM2M y CNRM-CM5. En contraste, las simulaciones regionales piloteadas con el modelo CanESM2 muestran disminuciones consistentes a lo largo de los seis periodos de retorno y los dos horizontes futuros. Por otro lado, aunque los valores de las medianas de los MCGs y MCRs son muy similares entre los dos horizontes futuros, se puede observar que las diferencias entre los periodos de retorno presentan ligeros incrementos en el horizonte futuro más lejano de 2070 a 2099. En las simulaciones con MCGs, se observan mayor número de valores atípicos representados con una cruz roja. Estos valores muestran incrementos en el horizonte de 2070 a 2099 y también presenta incrementos al aumentar el periodo de retorno (e.g. 10 años vs 100 años) alcanzando diferencias de hasta 600 %. En las simulaciones regionales se observa de igual manera la extensión de los límites de las distribuciones, especialmente en las piloteadas por los modelos GFDL-ESM2M y CNRM-CM5.

### 3.3 Descomposición de la varianza

La figura 4 muestra los resultados de los porcentajes de varianza de cada una de las fuentes de incertidumbre. La fuente G proveniente de las 29 diferentes simulaciones climáticas globales y regionales, la fuente R proveniente



de los diferentes tipos de simulación (i.e. referencia, RCP 4.5 y RCP 8.5) y la fuente H proveniente de los tres modelos hidrológicos.

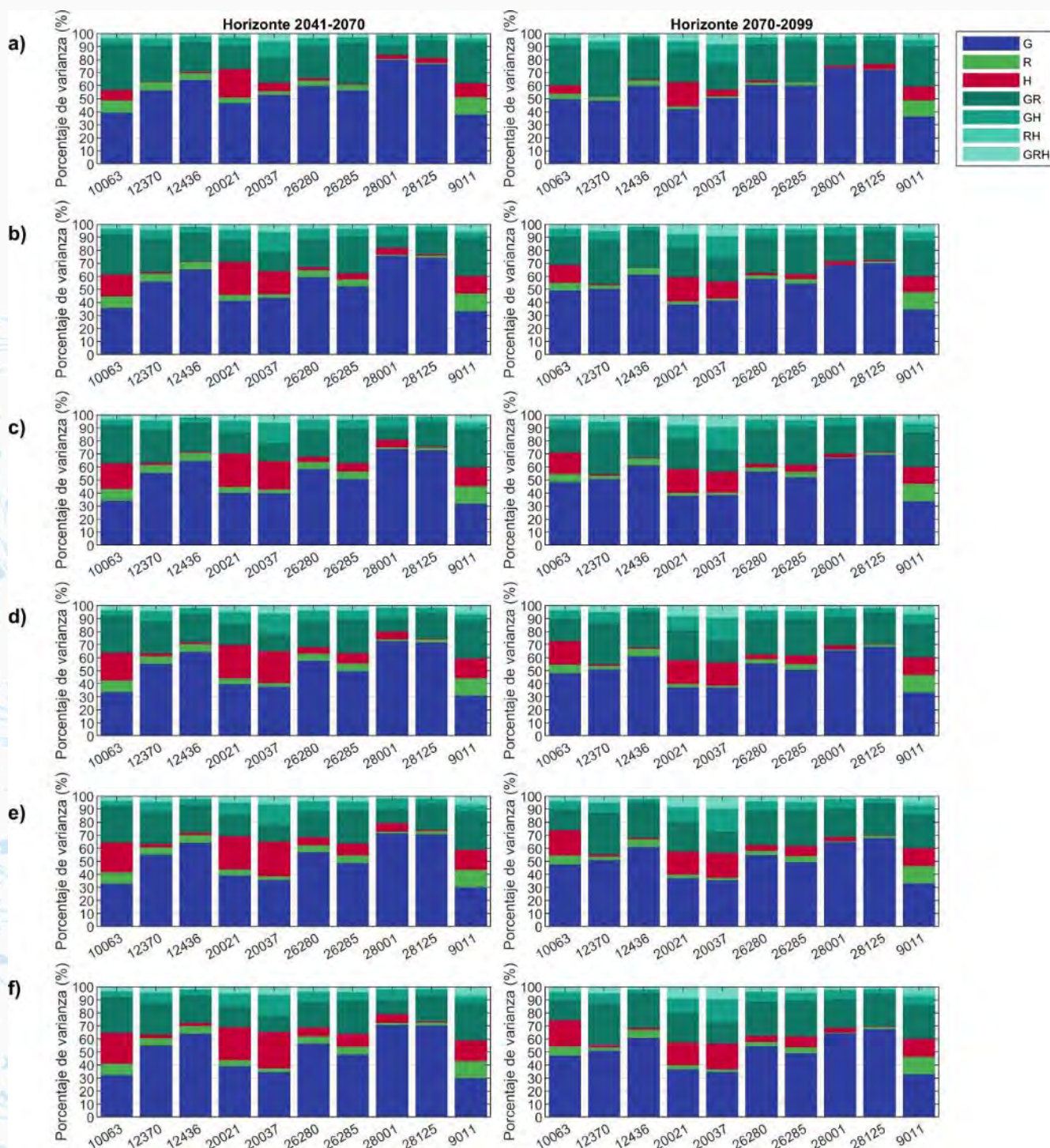


Figura 5. Porcentaje de varianza obtenido del análisis de la descomposición de la varianza de cada cuenca. En color azul se muestra la fuente G, en color verde la fuente R, en color rojo la fuente H y en diferentes tonos de color cian las interacciones entre las tres fuentes de incertidumbre. Los paneles a)-f) muestran los periodos de retorno de 2, 5, 10, 10, 50 y 100 años respectivamente. Cada sección muestra del lado izquierdo el horizonte de 2041 a 2070 y del lado derecho de 2070-2099.



Los resultados muestran que la incertidumbre climática proveniente de las 29 simulaciones climáticas y regionales es consistentemente una de las fuentes de incertidumbre más grandes en la evaluación de los periodos de retorno. Se observa en las diez cuencas diferentes que la fuente G (en color azul) domina en su mayoría la varianza con valores que varían desde poco más de 30 hasta 80 %. Se observa la variabilidad de resultados e impactos de las diferentes fuentes dependiendo la cuenca. Sin embargo, el impacto de cada fuente es consistente en los dos diferentes horizontes futuros de cada cuenca. Es importante destacar que, de las tres fuentes principales, la incertidumbre proveniente de los periodos de referencia y los escenarios de emisión RCP 4.5 y 8.5 es la menor. Por otro lado, se debe subrayar que el impacto de los modelos hidrológicos es variable y dependiente de la cuenca y del periodo de retorno. En algunas cuencas y periodos de retorno se observa un impacto menor a la fuente G y R. Sin embargo, en algunos casos se observa un mayor impacto cercano al impacto de la incertidumbre climática. Por ejemplo, en ciertas cuencas como la cuenca 10063 o la cuenca 20037, el impacto de los modelos hidrológicos muestra un claro incremento al incrementar el periodo de retorno.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha evaluado la incertidumbre en el análisis de frecuencia de avenidas de diseño proveniente de las simulaciones climáticas globales y regionales. Para llevar a cabo este estudio se usaron veinticinco simulaciones climáticas globales y cuatro simulaciones climáticas regionales para el periodo de 1976 a 2099 bajo los escenarios de emisión RCP 4.5 y 8.5. Adicionalmente, se aplicaron tres modelos hidrológicos que permitieron evaluar la incertidumbre proveniente de la modelización hidrológica. En general, los resultados mostraron la considerable sensibilidad de seis periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50 y 100 años) a las diferentes simulaciones climáticas globales y regionales. Cada cuenca mostró diferentes porcentajes de impacto desde 30 hasta 80%. Sin embargo, en todos los casos la simulación climática mostró ser una de las fuentes de incertidumbre más grandes. Por otro lado, los resultados mostraron en algunos casos, que los modelos hidrológicos impactaron en similar medida a las simulaciones climáticas en los más altos periodos de retorno (e.g. cuenca 10063), subrayando la importancia de usar más de un modelo hidrológico para tomar en cuenta la incertidumbre de estos modelos. Este estudio presenta la exploración en la cuantificación de la incertidumbre climática en cuencas mexicanas subrayando la importancia de considerar ensambles MCGs, MCRs y modelos hidrológicos.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Consorcio de Climatología Regional y Adaptación OURANOS por las simulaciones del modelo MCRC proporcionadas para este estudio, al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por la base de datos de cuencas mexicanas, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation por la financiación parcial de este proyecto.

#### 6. LITERATURA CITADA

- Arsenault, R., Brissette, F., & Martel, J.-L. (2018). The hazards of split-sample validation in hydrological model calibration. *Journal of hydrology*, 566, 346-362.
- Aryal, A., Shrestha, S., & Babel, M. S. (2018). Quantifying the sources of uncertainty in an ensemble of hydrological climate-impact projections. *Theoretical and Applied Climatology*. doi:10.1007/s00704-017-2359-3
- Bosshard, T., Carambia, M., Goergen, K., Kotlarski, S., Krahe, P., Zappa, M., & Schär, C. (2013). Quantifying uncertainty sources in an ensemble of hydrological climate-impact projections. *Water resources research*, 49(3), 1523-1536. doi:10.1029/2011WR011533
- Chebana, F., & Ouarda, T. B. M. J. (2011). Multivariate quantiles in hydrological frequency analysis. *Environmetrics*, 22(1), 63-78. doi:10.1002/env.1027
- Chen, J., Li, C., Brissette, F. P., Chen, H., Wang, M., & Essou, G. R. C. (2018). Impacts of correcting the inter-variable correlation of climate model outputs on hydrological modeling. *Journal of hydrology*, 560, 326-341. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.040>
- CLICOM. (2019). Base de Datos Climatológica Nacional: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada Ensenada.



- Crochemore, L., Perrin, C., Andréassian, V., Ehret, U., Seibert, S. P., Grimaldi, S., . . . Paturel, J.-E. (2015). Comparing expert judgement and numerical criteria for hydrograph evaluation. *Hydrological Sciences Journal*, 60(3), 402-423. doi:10.1080/02626667.2014.903331
- Déqué, M., Rowell, D. P., Lüthi, D., Giorgi, F., Christensen, J. H., Rockel, B., . . . van den Hurk, B. (2007). An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections. *Climatic Change*, 81(1), 53-70. doi:10.1007/s10584-006-9228-x
- Essou, G. R. C., Brissette, F., & Lucas-Picher, P. (2017). Impacts of combining reanalyses and weather station data on the accuracy of discharge modelling. *Journal of hydrology*, 545, 120-131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.021>
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958. doi:10.5194/gmd-9-1937-2016
- Fortin, V., & Turcotte, R. (2006). Le modèle hydrologique MOHYSE. *Note de cours pour SCA7420, Département des sciences de la terre et de l'atmosphère, Université du Québec à Montréal*.
- Grey, D., & Sadoff, C. W. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), 545-571.
- Hansen, N., & Ostermeier, A. (1997). Convergence properties of evolution strategies with the derandomized covariance matrix adaptation: The CMA-ES. *Eufit*, 97, 650-654.
- Huang, S., Kumar, R., Flörke, M., Yang, T., Hundecha, Y., Kraft, P., . . . Krysanova, V. (2017). Evaluation of an ensemble of regional hydrological models in 12 large-scale river basins worldwide. *Climatic Change*, 141(3), 381-397. doi:10.1007/s10584-016-1841-8
- IMTA. (2019). Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS): Comisión Nacional del Agua Jiutepec, México.
- IPCC. (2013). Summary for Policymakers. In T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1–30). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Kundzewicz, Z. W., Krysanova, V., Benestad, R. E., Hov, Ø., Piniewski, M., & Otto, I. M. (2018). Uncertainty in climate change impacts on water resources. *Environmental Science & Policy*, 79, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.008>
- Loaiciga, H. A., & Leipnik, R. B. (1999). Analysis of extreme hydrologic events with Gumbel distributions: marginal and additive cases. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 13(4), 251-259. doi:10.1007/s004770050042
- Marques, F. J., Coelho, C. A., & de Carvalho, M. (2015). On the distribution of linear combinations of independent Gumbel random variables. *Statistics and Computing*, 25(3), 683-701. doi:10.1007/s11222-014-9453-5
- Martel, J.-L., Demeester, K., Brissette, F., Poulin, A., & Arsenault, R. (2017). *HMETS-A simple and efficient hydrology model for teaching hydrological modelling, flow forecasting and climate change impacts* (Vol. 33).
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., & Loumagne, C. (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of hydrology*, 303(1), 290-306. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.026>
- Perrin, C., Michel, C., & Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of hydrology*, 279(1), 275-289. doi:[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00225-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00225-7)
- Roberts, J., & Snelgrove, K. (2015). Uncertainty in regional climate model mean runoff projections under climate change: Case study of Labrador's Churchill River Basin. *Atmosphere-Ocean*, 53(3), 319-331.
- Thibault, A., Anctil, F., & Boucher, M. A. (2016). Accounting for three sources of uncertainty in ensemble hydrological forecasting. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20(5), 1809-1825. doi:10.5194/hess-20-1809-2016
- Troin, M., Arsenault, R., Martel, J.-L., & Brissette, F. (2018). Uncertainty of hydrological model components in climate change studies over two Nordic Quebec catchments. *Journal of Hydrometeorology*, 19(1), 27-46.
- Valéry, A., Andréassian, V., & Perrin, C. (2014). 'As simple as possible but not simpler': What is useful in a temperature-based snow-accounting routine? Part 2—Sensitivity analysis of the Cemaneige snow accounting routine on 380 catchments. *Journal of hydrology*, 517, 1176-1187.
- Whan, K., & Zwiers, F. (2016). Evaluation of extreme rainfall and temperature over North America in CanRCM4 and CRCM5. *Climate Dynamics*, 46(11), 3821-3843. doi:10.1007/s00382-015-2807-7
- Zavaleta, S. P. I., Gonzalez, M. C., López, R. R., Poulin, A., Glaus, M., Bandala, E. E. M., & Gonzalez, E. C. (2015, 28-30 Oct. 2015). *Global model MOHYSE, a new tool to assess the effect of hydro-meteorological phenomena in the tropics*. Paper presented at the 2015 International Conference on Computing Systems and Telematics (ICCSAT).



# ID-125: INTERVALOS DE INFILTRACIÓN BAJO ESCENARIO ACTUAL Y DE CAMBIO CLIMÁTICO DE TRES MICROCUENCAS DEL ANP LA PRIMAVERA, JALISCO

Andrea ÁLVAREZ PÉREZ <sup>a</sup>, Raymundo VILLAVICENCIO GARCÍA <sup>a</sup>, José Ariel RUIZ CORRAL <sup>a</sup>, Ana Luisa SANTIAGO PÉREZ <sup>a</sup>, Javier GARCÍA VELASCO <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Camino Ramón Padilla Sánchez #2100 Nextipac, Zapopan, Jalisco, email: andrea.aperez@alumnos.udg.mx

## RESUMEN

Con el objetivo de determinar los intervalos de escurrimiento e infiltración potencial se modeló de acuerdo a la NOM-011-CONAGUA-2015 el método indirecto “*Precipitación-escurrimiento*” bajo condiciones de clima actual y dos escenarios RCP 4.5 y 8.5 de cambio climático para el año 2050 de tres principales microcuencas del Área Natural Protegida “La Primavera”: Las Tortugas (MLT), Santa Cruz de Las Flores (MSCLF) y Tala (MT). Considerando la extensión de las microcuencas y la precipitación anual actual, se estimó una capacidad de captación de agua de lluvia de 97.6, 201.1 y 62.4 Mm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> respectivamente. El balance hídrico promedio anual bajo el escenario climático actual fue por un lado del total de agua de lluvia que captan, para la MLT se evapora el 61.6%, se escurre el 1.8% y se infiltra el 36.5%; mientras que para los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 los intervalos de infiltración se reducirán 18.5 y 24.4% respectivamente. En la MSCLF, se evapora en promedio anual el 62.2%, se escurre el 5.6% y se infiltra el 32.2% bajo la condición actual del clima; en contraste se prevé que la infiltración disminuya 28.7% para el RCP 4.5 y hasta 33.6% para el RCP 8.5. Por último, la MT evapora el 62.5% de la precipitación promedio anual actual, escurre el 3.0% e infiltra el 34.4%; los escenarios RCP 4.5 y 8.5 mostraron al igual una disminución de infiltración de 21.7 y 27.4% respectivamente. El modelaje geográfico de la infiltración permitió identificar tanto las zonas potenciales de recarga, así como aquellas de pérdida por escurrimiento; para ambos casos, se sugiere valorar los recursos naturales locales y establecer acciones y mejores prácticas de manejo del recurso hídrico.

**Palabras clave:** Modelación, captación, escurrimiento, balance hídrico.

## 1 INTRODUCCIÓN

El Área Natural Protegida (ANP) “La Primavera” de 305 km<sup>2</sup> de superficie ubicada entre los paralelos 20°32 a 20°44 latitud Norte y -103°28 a -103°42 longitud Oeste; es reconocida por pertenecer a la región hidrológica del estado de Jalisco llamada Río Ameca dentro de la cuenca La Vega - Cocula lo que le da una gran importancia ecológica al área a nivel regional y estatal (IIGE, 2017). De acuerdo con Bateman (2007), la cuenca es la unidad hidrológica superficial más utilizada para realizar análisis, en el presente estudio se trabajó a nivel de microcuenca para estimar el balance hídrico y poder analizar las fases del ciclo hidrológico que es el proceso en el que se desarrollan: a) *La infiltración*, que se refiere al proceso por el cual el agua se transfiere desde la superficie del terreno hacia las profundidades; b) *La evaporación*, se describe como el proceso por el cual el agua se transfiere a la atmósfera; c) *La transpiración*, que alude al resultado del paso del agua a través de las raíces hacia las hojas y posteriormente a la atmósfera; d) *El escurrimiento*, que es el proceso superficial por el cual el agua fluye por la superficie del terreno hacia los cauces y el mar; e) *La evapotranspiración*, que es la combinación de la evaporación y la transpiración; f) *El transporte de sedimentos*, que se relaciona con el proceso que crea la morfología de las cuencas, es el responsable de la desertización, progradación y estabilidad de cauces. Con el objetivo de determinar los intervalos de escurrimiento e infiltración potencial se modeló de acuerdo a la NOM-011-CONAGUA-2015 el método indirecto “*Precipitación-escurrimiento*” bajo condiciones de clima actual y dos escenarios RCP 4.5 y 8.5 de cambio climático para el año 2050 de tres principales microcuencas del Área Natural Protegida “La Primavera”: Las Tortugas (MLT), Santa Cruz de Las Flores (MSCLF) y Tala (MT).

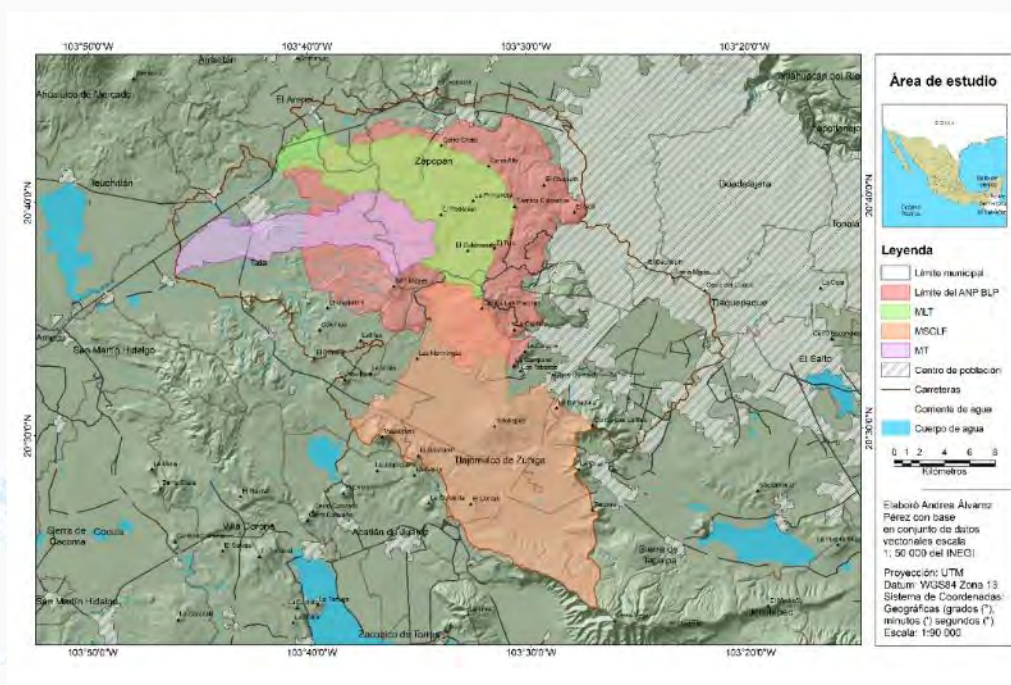
## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Descripción del área de estudio

El actual trabajo considera 3 de las 10 microcuencas delimitadas por el Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco (IIEG) que intersectan con el ANP “La Primavera”, Jalisco: Las Tortugas (MLT),



Santa Cruz de Las Flores (MSCLF) y Tala (MT), que en conjunto suman una superficie de 405.7 km<sup>2</sup> de los cuales el 40.3% o 163.6 km<sup>2</sup> se encuentran dentro del polígono del área protegida (Figura 1).



**Figura 1:** Localización del área de estudio y como punto central el Área de Protección de Flora y Fauna “La Primavera” y microcuencas hidrológicas Las Tortugas (MLT), Santa Cruz de Las Flores (MSCLF) y Tala (MT) en el estado de Jalisco.

## 2.1 Materiales

### 2.1.1 Cobertura de tipo y uso de suelo

Se elaboró el mapa de tipo y uso del suelo tras haber interpretado la cobertura terrestre de cada microcuenca a partir de las imágenes satelitales de alta resolución (1.5x1.5m) provistas del servidor de base de mapas (World Imagery) del programa ArcMap 10.2 (ESRI, 2018); se utilizó un rango de escala de interpretación de 1:2,500 a 1:5,000 utilizando la llave de interpretación que sugiere el método indirecto “*Precipitación-Escurrimiento*” de la NOM-011-CONAGUA-2015.

### 2.1.2 Cobertura edafológica

Para la realización del presente trabajo se empleó el conjunto de datos vectoriales edafológicos, 1:50,000 para el estado de Jalisco. Los datos fueron digitalizados por el Instituto de Información Estadística y Geográfica de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco cuya proyección es en coordenadas UTM con Datum WGS84 (IIEG-SEMADET, 2018).

### 2.1.3 Cobertura climática actual y bajo escenarios de cambio climático

Para el estudio se empleó la cartografía climática de tiempo presente en formato ráster para el estado de Jalisco con proyección en coordenadas UTM y utilizando el Datum del Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84) con base al período de referencia 1961-2010 (Medina *et al.* 2016). La capa ráster de 30 m de resolución utilizada fue la precipitación media. La cartografía de los escenarios de cambio climático en formato ráster con proyección UTM y Datum WGS84 para el área de estudio para los RCPs 4.5 y 8.5 para el año 2050 se obtuvieron del trabajo de Ruiz *et al.* (2016). La capa ráster de 30 m de resolución utilizada fue la precipitación media.



### 2.1.4 Otros datos ráster y vectoriales

Se empleó un Modelo Digital de Elevación (MDE) con resolución de 30 m en formato ráster y utilizando la proyección en coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) con Datum WGS84 (World Geodetic System 1984) correspondiente a la carta F13D65. Las capas ráster es un producto del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 de INEGI. Por otro lado, se utilizó el conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica F13D65 a escala 1:50,000 utilizando el mismo sistema de proyección señalado (INEGI, 2018).

## 2.2 Métodos

Para el cálculo físico de los intervalos de escurrimiento e infiltración se utilizó el método indirecto “*Precipitación-Escurrimiento*” de la Norma Oficial Mexicana 011-CONAGUA-2015 (CONAGUA, 2015). Todas las capas a utilizar para este modelo se homogenizan en formato ráster y a un mismo tamaño de pixel (30m); posteriormente, con herramientas y la función cálculo de mapas de ArcMap, se realizan operaciones algorítmicas para obtener los siguientes modelos digitales: el coeficiente de permeabilidad (valor de K), el cual surge de la unión de las coberturas de tipo y uso del suelo y la cobertura edafológica; la evapotranspiración, que se obtiene mediante el método de Turc; y finalmente se modela el escurrimiento e infiltración total y neta en tiempo presente, así como para los escenarios de cambio climático RCPs 4.5 y 8.5 para el periodo de tiempo 2050. A continuación se describen los pasos para el cálculo físico del escurrimiento e infiltración para el área de estudio:

- a) Obtener datos vectoriales de los límites de las microcuencas (IIGE) que intersectan sobre el ANP La Primavera; posteriormente se seleccionan tres microcuencas representativas y se definen como área de estudio,
- b) Cortar para el área de estudio, el modelo de elevación continuo 3.0 de INEGI con resolución de 30m del Estado de Jalisco,
- c) Elaborar la cobertura de tipo y uso de suelo mediante digitalización de imágenes de alta resolución y utilizando la llave interpretativa según la NOM-011,
- d) Cortar para el área de estudio, la cobertura climática de precipitación media anual ( $P$ ) en mm,
- e) Cortar para el área de estudio, la cobertura edafológica del Estado de Jalisco 1:50,000 del IIGE y definir los valores de permeabilidad ( $K$ ) en función a las características propias del tipo de suelo:
  1. **A:** Suelos permeables, tales como las arenas profundas y loess poco compactos,
  2. **B:** Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos,
  3. **C:** Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas.
- f) Unir las capas de tipo y uso de suelo y tipos de suelo,
- g) Calcular el valor medio ponderado de ( $K$ ) en función a los tipos y usos de suelo,
- h) Calcular el coeficiente de escurrimiento anual ( $CE$ ):

1. Si  $K$  es menor o igual que 0.15:

$$CE = \frac{K(P - 250)}{2000}$$

2. Si  $K$  es mayor que 0.15:

$$CE = \frac{\frac{K(P - 250)}{2000} + (K - 0.15)}{1.5}$$



Donde, P es igual a Precipitación anual en mm. Rango de validez: Las fórmulas se considerarán válidas para valores de precipitación anual entre 350 y 2150 mm (NOM-011-CONAGUA-2015).

- i) Eliminar valores negativos de  $CE$ :

$$CE_0 = \text{Con}(CE < 0.0, CE)$$

- j) Convertir valores de  $CE_0$  en mm:

$$CE_{mm} = P * CE_0$$

- k) Cortar para el área de estudio, la cobertura climática de temperatura media anual en grados centígrados ( $T$ ),  
l) Calcular la evapotranspiración potencial en mm (criterio de Turc):

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Donde, L:

$$L = (T * 25) + 300 + (T^3 * 0.05)$$

- m) Calcular la infiltración total en mm ( $I_t$ ):

$$I_t = CE_{mm} - (-1) * P$$

- n) Calcular la infiltración neta en mm ( $I_n$ ):

$$I_n = P - (ETR - CE_{mm})$$

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Microcuenca Las Tortugas (MLT)

La microcuenca Las Tortugas abarca una superficie de 104.4km<sup>2</sup> (10439.4ha), con una elevación media de 1889 m. La capacidad de captación natural de agua de lluvia se calculó en 97.6 Mm<sup>3</sup> año-1 con una precipitación promedio anual de 935 mm.

La microcuenca posee una cubierta forestal de 85.9%, por diferente densidad de cobertura; las coberturas con densidad de 50 a 75% conlleva el mayor porcentaje (29.0), seguido de la cobertura de 25 a 50% con 26.7.6%. La microcuenca presenta solo el 0.9% (93.5 ha) de zonas urbanas y las zonas dedicadas a la agricultura abarcan el 8.0% con 839.6 ha (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tipo de vegetación por densidades de cobertura (%) y otros usos del suelo de la microcuenca de drenaje Las Tortugas.

Tipo de vegetación y otros usos del suelo	Sup. (ha)	Sup. (%)
Bosque cobertura < 25%	857.9	8.2

Bosque cobertura 25 al 50%	2786.8	26.7
Bosque cobertura 50 al 75%	3024.5	29.0
Bosque cobertura > 75%	2297.1	22.0
Camino	9.4	0.1
Cultivo	839.6	8.0
Pastizal cobertura < 50%	147.5	1.4
Pastizal cobertura 50 al 75%	153.1	1.5
Pastizal cobertura >75%	206.4	2.0
Zona urbana	93.5	0.9
Área desprovista de vegetación	23.6	0.2
<b>Total</b>	<b>10439.4</b>	<b>100</b>

Para la microcuenca Las Tortugas, el coeficiente de escurrimiento (CE) del escenario climático actual fue de 0.092, para los escenarios de cambio climático RCP. 4.5 y RCP 8.5 para el año 2050 fueron de 0.090 y 0.085 respectivamente.

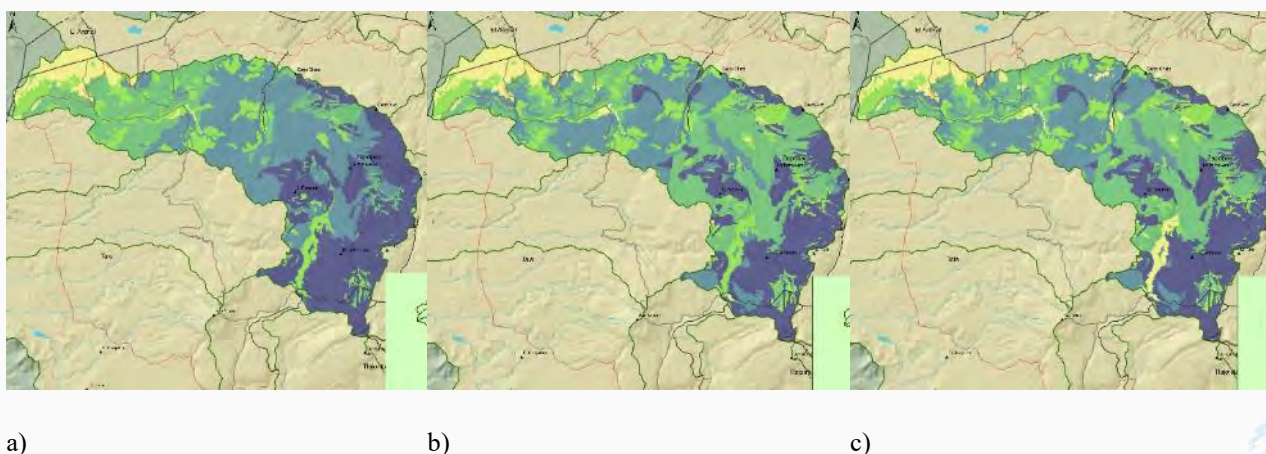
Con respecto a los intervalos de infiltración de agua de lluvia las modelaciones promediaron 341.5 mm para el escenario climático actual; para el año 2050, el valor se reduce a 278.5 mm para el escenario de cambio climático RCP 4.5 y a 257.9 mm para el RCP 8.5 (Tabla 2).

**Tabla 2.** Valores de precipitación promedio anual, coeficiente de escurrimiento, evapotranspiración e infiltración de la microcuenca de drenaje Las Tortugas, bajo el escenario climático actual, y los escenarios de cambio climático RCP. 4.5 y RCP 8.5 para el año 2050.

Parámetro / Escenario	PP (mm)			CE (mm)			ETR (mm)			IN (mm)		
	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5
Mínimo	901.0	870.1	820.9	0.0	0.0	0.0	564.8	562.6	536.9	226.6	114.9	108.8
Máxima	974.0	951.0	903.0	109.8	199.4	180.7	586.5	589.6	567.7	391.5	362.2	336.0
Promedio	934.9	905.5	851.9	17.0	52.4	46.1	576.4	574.6	547.9	341.5	278.5	257.9
Desv. Estan.	16.2	16.8	17.6	25.5	49.3	44.6	3.9	5.4	6.4	33.4	54.5	49.5

Lo anterior indica que en el cálculo del balance hídrico bajo el escenario actual se evapora el 61.6%, se escurre el 1.8% y se infiltra el 36.5% del total de precipitación promedio anual, mientras que para los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 los intervalos de infiltración se reducirán 18.5 y 24.4% respectivamente, estos cambios se pueden observar en la figura 2.





**Figura 2.** Intervalo de infiltración promedio anual (mm) de la microcuenca de drenaje Las Tortugas, bajo el escenario climático actual a) y los escenarios de cambio climático b) RPC 4.5 y c) RPC 8.5 del año 2050 (fuente: Elaboración propia).

### 3.2 Microcuenca Santa Cruz de Las Flores (MSCLF)

La microcuenca Santa Cruz de Las Flores en su contexto geométrico abarca una superficie de 232.5km<sup>2</sup> (23246.3ha) y registra una elevación media de 2600 m. Se calculó una precipitación promedio anual de 865mm y una disponibilidad de agua de 201.1 Mm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>.

La microcuenca cuenta con una cubierta forestal de 40.6%; por densidad de cobertura, las coberturas con densidades mayor a 75% y de 50 al 75% representan el 17.9 y 12.8% respectivamente. La microcuenca presenta 35.6% (8264.2 ha) de áreas de agricultura; las zonas de pastizal suman 3270.9 ha, es decir, 14.0% de la superficie total (Tabla 3).

**Tabla 3.** Tipo de vegetación por densidades de cobertura (%) y otros usos del suelo de la microcuenca de drenaje Santa Cruz de Las Flores.

Tipo de vegetación y otros usos del suelo	Sup. (ha)	Sup. (%)
Bosque cobertura < 25%	1214.4	5.2
Bosque cobertura 25 al 50%	1092.3	4.7
Bosque cobertura 50 al 75%	2975.1	12.8
Bosque cobertura > 75%	4171.9	17.9
Camino	64.4	0.3
Cultivo	8264.2	35.6
Pastizal cobertura < 50%	1424.9	6.1
Pastizal cobertura 50 al 75%	1209.6	5.2
Pastizal cobertura >75%	636.4	2.7
Zona urbana	1716.9	7.4
Área desprovista de vegetación	476.2	2.0
<b>Total</b>	<b>23246.3</b>	<b>100</b>

Para la microcuenca Santa Cruz de Las Flores, el coeficiente de escurrimiento (CE) del escenario climático actual fue de 0.132, para los escenarios de cambio climático RCP. 4.5 y RCP 8.5 para el año 2050 fueron de 0.127 y 0.122 respectivamente.

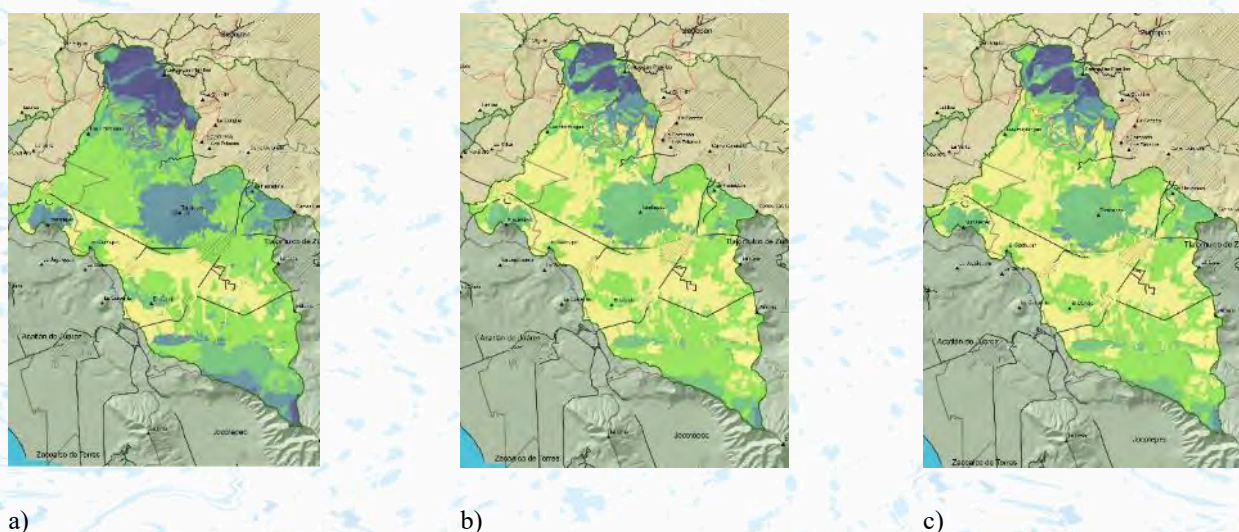


Las modelaciones de los intervalos de infiltración de agua de lluvia promediaron 278.5 mm para el escenario climático actual; para el año 2050, el valor se reduce a 198.5 mm para el escenario de cambio climático RCP 4.5 y a 185.0 mm para el RCP 8.5 (Tabla 4).

**Tabla 4.** Valores de precipitación promedio anual, coeficiente de escurrimiento, evapotranspiración e infiltración de la microcuenca de drenaje Santa Cruz de Las Flores, bajo el escenario climático actual, y los escenarios de cambio climático RCP. 4.5 y RCP 8.5 para el año 2050.

Parámetro / Escenario	PP (mm)			CE (mm)			ETR (mm)			IN (mm)		
	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5
Mínimo	831.0	789.0	745.0	0.0	0.0	0.0	520.8	508.5	486.2	207.9	113.4	107.0
Máxima	955.0	928.0	879.0	104.4	181.7	165.1	568.5	570.4	548.7	390.6	357.6	330.2
Promedio	865.2	826.8	778.8	48.4	99.1	89.2	538.4	529.2	504.6	278.5	198.5	185.0
Desv. Estan.	25.8	28.1	25.2	28.5	42.5	38.9	12.0	14.5	13.2	39.1	51.4	46.7

Para la MSCLF, el cálculo del balance hídrico bajo el escenario actual indica que se evapora el 62.2%, se escurre el 5.6% y se infiltra el 32.2% del total de precipitación promedio anual, mientras que para el escenario de cambio climático RCP 4.5 se reduce la infiltración 28.7% y para el RCP 8.5 hasta 33.6%, como se observa en la figura 3.



**Figura 3.** Intervalo de infiltración promedio anual (mm) de la microcuenca de drenaje Santa Cruz de Las Flores, bajo el escenario climático actual a) y los escenarios de cambio climático b) RPC 4.5 y c) RPC 8.5 del año 2050 (fuente: Elaboración propia).

### 3.3 Microcuenca Tala (MT)

La microcuenca Tala cubre una superficie de 68.8km<sup>2</sup> (6877.5ha), cuya elevación media es de 1887 m. Cuenta con una precipitación promedio anual de 907 mm, la capacidad de captación natural de agua de lluvia se calculó en 62.4 Mm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>.

La microcuenca posee una cubierta forestal de 4224.5 hectáreas, es decir, el 61.4% de su superficie es bosque y tiene diferente densidad de cobertura. Las coberturas con densidad del 25 al 50% conlleva el mayor porcentaje (23.1), seguida de la cobertura de 50 a 75% con el 19.8% de la superficie. La microcuenca presenta un 28.51%



(1959.9 ha) de la cobertura dedicada a la agricultura; las zonas de pastizal suman únicamente 392.3 ha, las cuales representan el 5.7% de la superficie de la microcuenca. Las zonas urbanas y los caminos como coberturas de infraestructura cubren una extensión de 292.5 ha (Tabla 5).

**Tabla 5.** Tipo de vegetación por densidades de cobertura (%) y otros usos del suelo de la microcuenca de drenaje Tala.

Tipo de vegetación y otros usos del suelo	Sup. (ha)	Sup. (%)
Bosque cobertura < 25%	308.6	4.5
Bosque cobertura 25 al 50%	1587.6	23.1
Bosque cobertura 50 al 75%	1363.0	19.8
Bosque cobertura > 75%	965.3	14.0
Camino	7.9	0.1
Cultivo	1959.9	28.5
Pastizal cobertura < 50%	3.7	0.1
Pastizal cobertura 50 al 75%	352.6	0.5
Pastizal cobertura > 75%	36.0	5.1
Zona urbana	284.6	4.1
Área desprovista de vegetación	8.3	0.12
<b>Total</b>	<b>6877.5</b>	<b>100</b>

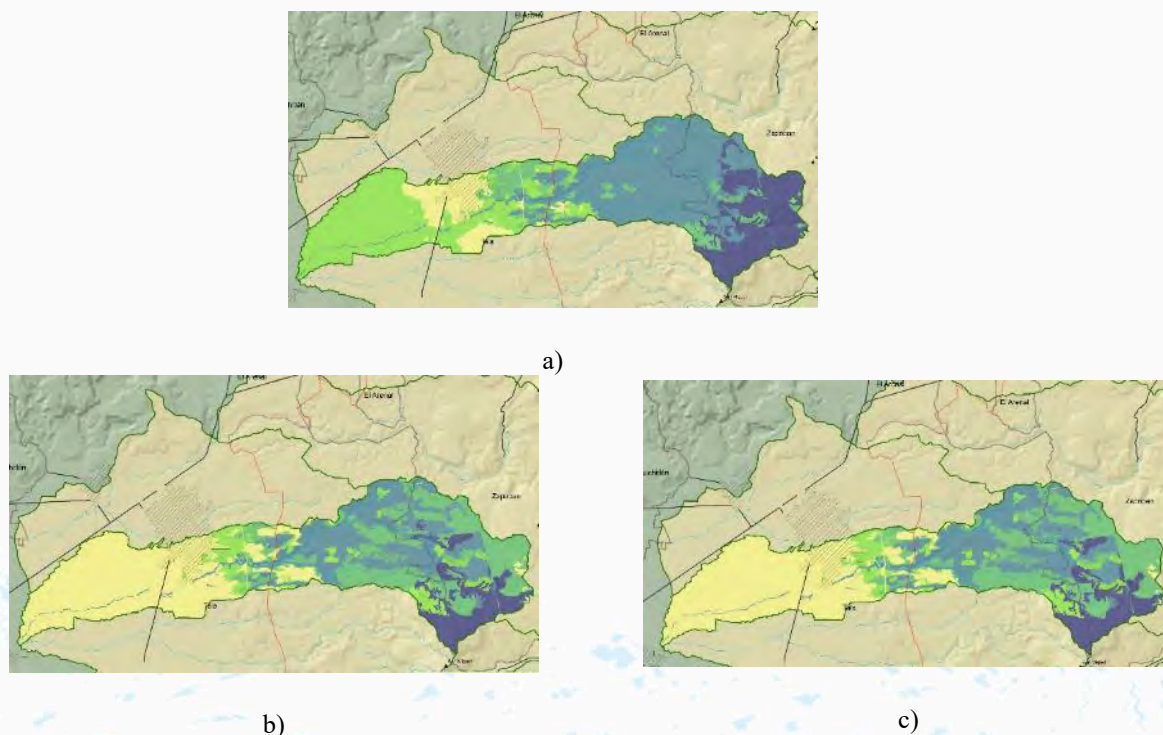
Para la microcuenca Tala, el coeficiente de escurrimiento (CE) del escenario climático actual fue de 0.081, para los escenarios de cambio climático RCP. 4.5 y RCP 8.5 para el año 2050 fueron de 0.079 y 0.074 respectivamente.

Al respecto los intervalos de infiltración de agua de lluvia promediaron valores de 312.3 mm bajo el escenario climático actual, por otro lado para los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 el valor disminuye a 244.6 y 226.7 mm respectivamente (Tabla 6).

**Tabla 6.** Valores de precipitación promedio anual, coeficiente de escurrimiento, evapotranspiración e infiltración de la microcuenca de drenaje Tala, bajo el escenario climático actual, y los escenarios de cambio climático RCP. 4.5 y RCP 8.5 para el año 2050.

Parámetro / Escenario	PP (mm)			CE (mm)			ETR (mm)			IN (mm)		
	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5	Actual	RCP 4.5	RCP 8.5
Mínimo	882.0	847.4	795.0	0.0	0.0	0.0	559.2	550.4	522.3	240.7	140.0	132.0
Máxima	952.0	918.3	863.7	89.6	166.6	151.4	577.1	576.1	549.6	375.5	346.6	317.3
Promedio	907.0	875.2	822.0	27.4	68.8	61.0	567.2	561.8	534.4	312.3	244.6	226.7
Desv. Estan.	18.0	18.7	17.3	26.8	48.8	44.4	4.2	6.6	6.7	37.7	57.3	51.6

Estos datos demuestran que en el cálculo del balance hídrico bajo el escenario actual se evapora el 62.5%, se escurre el 3.0% y se infiltra el 34.4% del total de precipitación promedio anual, mientras que para los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 los intervalos de infiltración se reducirán 21.7 y 27.4% respectivamente como aparece en la figura 4.



**Figura 4.** Intervalo de infiltración promedio anual (mm) de la microcuenca de drenaje Tala, bajo el escenario climático actual a) y los escenarios de cambio climático b) RPC 4.5 y c) RPC 8.5 del año 2050 (fuente: Elaboración propia).

### 3.4 Balance hídrico

Los cálculos del balance hídrico (Tabla 7) demuestran que los intervalos del promedio de la infiltración tienen una mayor afectación bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5 en el caso de las tres microcuencas, a su vez la microcuenca Santa Cruz de Las Flores es la que se observa tendrá un mayor cambio respecto a los mm infiltrados en relación al escenario actual al esperarse disminuciones del 28.7 y 33.6% para los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 respectivamente, además de presentar la menor cantidad de precipitación promedio anual (856 mm) y contar con la mayor extensión(232.5km<sup>2</sup>).

**Tabla 7.** Cálculo del balance hídrico para las microcuencas Las Tortugas(MLT), Santa Cruz de Las Flores(MSCLF) y Tala(MT), con valores de precipitación promedio anual = PP( mm), evaporación = EVP (%), escurrimiento = CE(%), e infiltración = IN (%), bajo el escenario climático actual, y los escenarios de cambio climático RCP. 4.5 y RCP 8.5 para el año 2050.

	PP (mm)	ESCENARIO CLIMÁTICO				
		Actual			RCP 4.5	RCP 8.5
		EVP (%)	CE (%)	IN (%)	Disminución con respecto a los mm infiltrados actualmente (%)	
<b>MLT</b>	935	61.6	1.8	36.5	18.5	24.4
<b>MSCLF</b>	856	62.2	5.6	32.2	28.7	33.6
<b>MT</b>	907	62.5	3.0	34.4	21.7	27.4



#### 4. CONCLUSIONES

El modelaje geográfico de la infiltración permitió identificar tanto las zonas potenciales de recarga, así como aquellas de pérdida por escurrimiento; para ambos casos, se sugiere valorar los recursos naturales locales y establecer acciones y mejores prácticas de manejo del recurso hídrico.

#### 6. LITERATURA CITADA

Bateman, A. 2007. Hidrología básica y aplicada. Grupo de investigación en transporte de sedimentos GITS. Pp.70.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2015. *Normas oficiales mexicanas del sector agua*. NOM-011-CONAGUA-2015. Recuperado el 13 de enero de 2018, de <https://www.gob.mx/conagua>

Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIGE), 2017. *Plan Estatal de Microcuencas*. Servicios WFS. Recuperado el 20 de septiembre de 2017, de <http://sitel.jalisco.gob.mx/portal2/index.php/servicios-wfs>

Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIGE) - Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) 2018. *Mapa de suelos*. Digitalización de cartas edafológicas escala 1:50000, F13D54, F13D55, F13D64, F13D65, F13D74 y F13D75 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (1974).

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2018. *Carta topográfica F13D65*. Escala 1:50,000. México. Recuperado el 20 de enero de 2018, de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/>

Medina, G. G., Ruiz, C. J. A., Rodríguez, M. V. M., Soria, R. J., Díaz, P. G., Villaseñor, P. Z. 2016. Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (13) 2465-2474.

Ruiz, C. J. A., Medina, G. G., Rodríguez, M. V. M., Sánchez, G. J. de J., Villavicencio, G. R., Durán, P. N., Grageda, G. J., García, R. G. E. 2016. Regionalización del cambio climático en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2451-2464.

## ID-189: CAMBIOS IRREVERSIBLES EN LA CUENCA BAJA DEL GRIJALVA-USUMACINTA

Lilia GAMA<sup>a</sup>, Ena MATA-ZAYAS<sup>a</sup>, Coral PACHECO-FIGUEROA<sup>a</sup>, Juan de Dios VALDEZ-LEAL<sup>a</sup>, María Elena MACÍAS-VALADEZ<sup>a</sup>, Ricardo COLLADO-TORRES<sup>a</sup>, Eduardo MOGUEL-ORDOÑEZ<sup>a</sup>, Hilda DÍAZ-LÓPEZ<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av Universidad S/N, Zona de la Cultura, Villahermosa, Tabasco México, email: [lillygama@yahoo.com](mailto:lillygama@yahoo.com), [ena.matazayas@gmail.com](mailto:ena.matazayas@gmail.com), [pachecoral@yahoo.com.mx](mailto:pachecoral@yahoo.com.mx), [jdvaldezleal@yahoo.com.mx](mailto:jdvaldezleal@yahoo.com.mx), [mmacias\\_valadez@hotmail.com](mailto:mmacias_valadez@hotmail.com), [richyboy14@hotmail.com](mailto:richyboy14@hotmail.com), [moguel03@hotmail.com](mailto:moguel03@hotmail.com), [hildadiaz2@hotmail.com](mailto:hildadiaz2@hotmail.com)

### RESUMEN

Tabasco es un estado con un alto porcentaje de influencia costera, ubicado principalmente en la desembocadura de la cuenca Grijalva-Usumacinta, una región con un importante e histórico proceso de modificación del territorio, que inicia desde tiempos prehispánicos. Aquí habita actualmente el 93% de la población de Tabasco, que supera los dos millones de habitantes. Asociado a esto, es la zona en la que se realizan las principales actividades productivas del estado, que representan en relación a la extracción petrolera el 26.7% del PIB nacional. De acuerdo a los planes de desarrollo que se están elaborando tanto a nivel federal como estatal, está programado fortalecer la infraestructura de la zona para incrementar las posibilidades de desarrollo asociadas a la extracción minera. Esta región es también altamente vulnerable a diferentes impactos ambientales que amenazan las capacidades de desarrollo, en especial las asociadas a los impactos por cambio climático, algunos de los cuales generaran cambios irreversibles por las modificaciones que se están presentando en la geomorfología del territorio y que se reflejarán en los diferentes paisajes tanto naturales como antrópicos a mediano y largo plazo. El objetivo de esta investigación fue identificar los futuros escenarios de la línea costera y los cambios que se podrían presentar tierra adentro por estas modificaciones. Se georreferenció la línea costera, como línea base para modelar los cambios futuros y sus posibles representaciones en los paisajes, se identificaron las amenazas esperadas y los impactos que esto tendrá en la cuenca baja del Grijalva-Usumacinta. Los resultados muestran que una importante zona de humedales podría incrementar por los cambios en las características físicas que se presenten que llevaría a un colapso de lo actualmente presente, que forzaría una reorganización de los sistemas con potencial para reorganizaciones en los ensambles de especies presentes.

**Palabras clave:** elevación del nivel del mar, resiliencia, humedales, costas.

### 1 INTRODUCCIÓN

Considerando que la dinámica costera califica como un sistema complejo, una propuesta de manejo integral requiere no solo de un proceso de diagnóstico del contexto reciente, sino de su ubicación en una escala de tiempo y espacio que identifique su formación y vinculación con sus usos históricos. Este contexto permitirá además de identificar en el tiempo el origen geomorfológico de la región y pronosticar sus potenciales de cambio, los cambios naturales de la misma, para modelar los posibles cambios esperados bajo diferentes condiciones como serían los impactos esperados por los cambios globales. Como señala Kirch (2005), un enfoque de ecodinámica humana debe considerar el histórico al analizar el paisaje en territorios modificados por extensos periodos históricamente, para identificar aquellos procesos lentos que pudieran ser clave (Gunderson y Folke, 2003), así como los procesos de asimilación del territorio a largo plazo. El paisaje es la base para conocer los recursos que existen que permite proponer su manejo y mantener una estrategia orientada al desarrollo sustentable y preservación de la biodiversidad.



De acuerdo con datos arqueológicos, en el sureste de México, crisis ambientales generaron condiciones de colapso para las culturas establecidas en esta región (Shaw, 2003). Estos cambios fueron un inicio de los procesos que se han dado en cuenca, a los que se han sumado importantes modificaciones cada vez más agresivas del territorio (Gama et al., 2019). Una revisión de las causas del incremento en daños asociados a inundaciones en Tabasco, evidencian como la construcción de infraestructura altera los procesos naturales que se ha acentuado con el cambio climático. Comprender las respuestas de los procesos de la cuenca y las tendencias de cambio, requiere de determinar las interacciones, considerando las variables «rápidas» y las «lentas» así como las «correlaciones directas o inversas» en las diferentes escalas, así como el papel que tienen estos cambios. Para estos sistemas socioecológicos acoplados de largo plazo, Redman (2005) señala que es importante considerar que el cambio no es ni continuo ni gradual, ni consistentemente caótico, sino episódico con períodos de lenta acumulación, marcados por repentinos escapes y reorganizaciones, resultante de la interacción entre las variables lentas y las rápidas. Además de que las características espaciales y las temporales, no son uniformes ni invariantes, sino patrones de procesos, fragmentados y discontinuos.

Un paisaje es una extensión de un terreno que está compuesto por una combinación de componentes bióticos y abióticos que interactúan a través del espacio en que se encuentran. En ese sentido la teoría de la resiliencia señala la inevitabilidad de los cambios como un proceso de estabilidad y transformación (Holling, 1973), con posible repetición patrones que generen nuevas configuraciones, interacciones y dinámicas. Debido a esto, ningún sistema podría entenderse en una sola escala, ya que los sistemas existen y funcionan en múltiples escalas de espacio, tiempo y organización social. Además, los cambios que se presentan, pueden reorganizar entre escalas espaciales o temporales a escalas más grandes que permiten la reorganización en torno tanto a las mismas estructuras y procesos en su escala, o generando colapsos que pueden afectar a otras escalas (Angeler et al., 2016).

De acuerdo con esto, la reorganización podría permitir el establecimiento de nuevas configuraciones y oportunidades para la incorporación de elementos o procesos. Actualmente se ha favorecido una perspectiva de resiliencia como estrategia para fortalecer los sistemas socioambientales, que sirvan de soporte de alternativas adaptativas en especial a los impactos esperados por el del cambio climático. Sin embargo, a nivel internacional se han señalado casos en que las modificaciones que se presenten resultarán en cambios drásticos, como es el deshielo de las masas polares (Monastersky, 2015) donde seguramente se formarán nuevos procesos y ensamblajes de especies por la pérdida de territorio asociada a los cambios.

El objetivo de este análisis fue identificar cambios territoriales con potencial de ser irreversibles asociados a procesos espaciales y temporales de un el sistema complejo costero de Tabasco, en escenarios a largo plazo sus características fisiográficas y los impactos asociados al cambio global. Identificar estos posibles cambios, permitiría identificar áreas de oportunidad y proponer estrategias de ajuste, durante los períodos de reorganización y renovación.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

Tabasco se ubica en la planicie costera del Golfo Sur con un clima predominantemente cálido lluvioso, en paisajes dominados por humedales, en la zona de descarga de la cuenca Grijalva-Usumacinta, con un importante grado de transformación. Estos cambios se iniciaron desde la época prehispánica asociados a la abundancia en recursos naturales, donde se establecieron pobladores, que fueron los primeros agricultores en la zona (Tudela, 1989).

En esta región desde la época prehispánica se identifica un importante proceso de interacción cultural y económica (Moreno, 2013). Las actividades productivas han cambiado el equilibrio y su funcionalidad especialmente en la hidrodinámica de la planicie costera, modificando su capacidad de reducir la vulnerabilidad asociada a la dinámica costera y las amenazas derivadas del incremento por la elevación del nivel del mar (Ortiz y Gama, 2019).

El estudio de los paisajes de la zona costera y sus procesos de modificación de acuerdo a la metodología de modificación ecológico-paisajísticas de Chiappy et al. (2001) permitió un enfoque que integra la actividad humana



con los paisajes naturales que permitió construir un mapa para caracterizarlos y delimitar la línea de costa, un modelo de elevación además de zonas antrópicas y naturales, conformados principalmente por humedales costeros especialmente manglares y un buffer que considera tasas de erosión y acumulación de acuerdo con lo estimado por Ortiz-Pérez et al. (2010) se utilizó el software ArcMap 10.0. Los cambios potenciales en el nivel medio del mar fueron considerados de acuerdo a los datos de IPCC (2018), que estima un mínimo de 26 y un máximo de 77 cm para el año 2100, si el incremento de temperatura no supera el 1.5 °C.

Se realizó el cruzamiento de información de los paisajes actuales y los posibles cambios con el incremento del nivel del mar para la zona de humedales costeros susceptibles de modificaciones (figura 1).

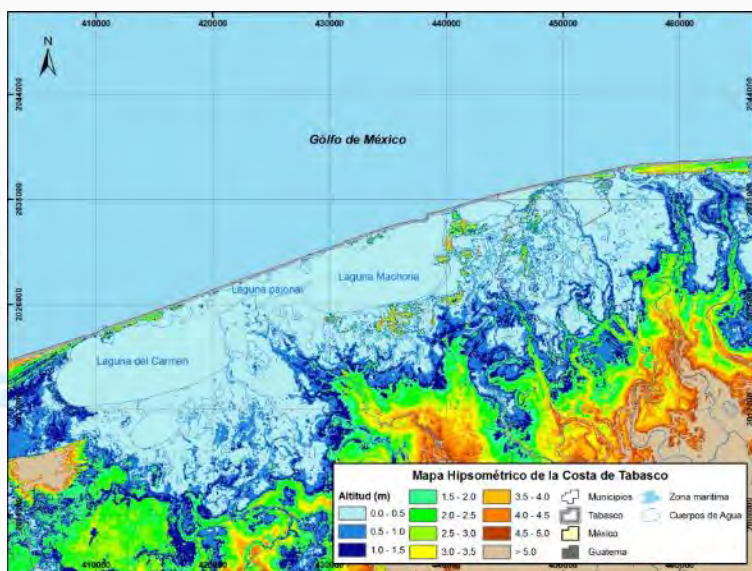


Figura 1. Zona de lagunas costeras de Tabasco con datos de elevación y paisajes costeros.

### 3 RESULTADOS

Los sistemas antrópicos y ecosistemas de la región costera de Tabasco están sufriendo una desestabilización debido a las drásticas transformaciones asociadas con las actividades productivas, además de la erosión costera que ocasiona importante pérdida de territorio tierra adentro y cambios en la salinidad del suelo lo que se ve incrementado por la elevación media del mar. Los paisajes compuestos de diferentes tipos de humedales están perdiendo su riqueza por cambios en las características fisicoquímicas o por la invasión de especies exóticas, estos cambios en los ensambles de especies de los diferentes sistemas de la región ven alterada su capacidad de proveer los servicios ecosistémicos que les dan estabilidad.

Ecosistemas como los manglares que tienen importantes extensiones en la costa tabasqueña además de bordear las lagunas costeras, están modificando su distribución incrementándose tierra adentro. Sin embargo, a pesar de sus mecanismos naturales de adaptación para ambientes totales o parcialmente inundados y salinos que les permitirán avanzar tierra adentro si hay suficiente ambiente sedimentario y si no se tienen obstáculos topográficos, se verán reducidos en el frente de costa. Asociado a esto, de acuerdo con Mata et al. (2017), su capacidad de proveer protección y estabilización a la línea de costa a la erosión del mar e impactos tormentas y huracanes podría verse disminuida.

La zona de dunas costeras está desapareciendo por el avance de infraestructura, tanto de control de erosión como sobre las mismas como son carreteras, lo que rompe su estabilidad generando espacios que favorecen el avance de la erosión.



Las zonas de agricultura y ganadería están cambiando su grado de salinidad debido al avance de la cuña salina lo que requerirá de considerar especies cada vez más tolerantes a la salinidad. Por otro lado el mismo avance de la cuña salina está generando un proceso de salinización del manto freático lo que genera problemas de accesibilidad al agua no solo para consumo humano sino para riego. Además el patrón de lluvias anuales parece estar modificándose generando tormentas puntuales con largos periodos de sequía especialmente en verano.

Estos cambios en los diferentes sistemas naturales y antrópicos generarán reorganizaciones a través de transiciones graduales o rápidas, que darán origen a nuevos paisajes en el territorio costero de Tabasco.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Cuando los componentes más estables del paisaje como la geomorfología se modifican, los cambios que se generan pueden ser irreversibles especialmente en zonas costeras donde los paisajes de dunas barrera natural a los impactos asociados de erosión o inundaciones de marea han sido alterados para la construcción de infraestructura rompiendo con la dinámica del paisaje.

Los impactos del cambio climático en algunas regiones, resultarán en procesos de reorganización, inducidos no solo por los cambios globales sino por las alteraciones de paisaje especialmente las geomorfológicas. Los análisis realizados para este estudio, generan escenarios de nuevos ensambles del paisaje asociados a modificaciones en las zonas de humedales costeros, donde existe una fuerte inter-dependencia entre los ambientes marino-costero con terrestre-costero (Yañez-Arancibia et al., 1998).

El análisis muestra áreas que van desde aquella con la posibilidad de mantener sus condiciones actuales, hasta algunas con señales de cambios importantes por alteraciones en la hidrodinámica, procesos de salinización, incremento en el potencial para inundaciones de marea, o pérdida de territorio al mar. En estas últimas se presentarán por este cambio en las condiciones cambios en los ensambles de especies que se adapten a las nuevas condiciones, manteniéndose posiblemente con mayor facilidad las especies generalistas. Otras especies cuyos rangos de tolerancia son más estrictos desaparecerán. Destacan especies como el *Pterygoplichthys pardalis*, que a pesar de ser una especie invasora muy agresiva en la región presentan problemas para adaptarse a la salinidad por largos periodos de tiempo.

Finalmente, es importante señalar que la complejidad en las interrelaciones será un limitante para mantener los ecosistemas actuales en nuevas condiciones. Sin embargo, se presentarán en el futuro reorganizaciones que podrían aportar áreas de oportunidad, por lo que es prioritario al mediano plazo identificar las tendencias de cambio y las adaptaciones que las especies locales tienen a estos nuevos escenarios.

#### 5. LITERATURA CITADA

Angeler, D.G., C.R. Allen, A.S. Garmestani, L.H. Gunderson and I. Linkov. 2016. Panarchy use in environmental science for risk and resilience Planning. *Environment Systems Decisions*. 36:225–228.

Chiappy, eJ, L.E. Giddings y L. Gama. 2001. Evaluating ecological landscape modifications using existing cartography. *Revista Cartográfica* 72:85-122.

Gama Campillo L.M., R.A. Collado Torres, H.M. Díaz López y E.J. Moguel Ordóñez 2019. La modificación del paisaje como indicador de salud ecológica Estudio de Caso. En: La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol. 11. CONABIO, México, pp. 160-163

- Gunderson, L.H. and C. Folke. 2003. Toward a “Science of the Long View.” *Conservation Ecology*. 7(1):15.
- Holling, C.S. 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 4:1–23.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2018. Global Warming of 1.5°C, Special Report, Summary for Policymakers. WMO/UNEP, 32 p.  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15\\_SPM\\_version\\_stand\\_alone\\_LR.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf).
- Kirch, P.V. 2005. Archaeology and Global Change: The Holocene Record. *Annual Review of Environment and Resources*, 30:409-440.
- Mata-Zayas E.E., L. Gama, C. Vázquez-Navarrete, H. Díaz López, J.M. Figueroa Maheng y J. Rincón Ramírez. 2017. Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos en la zona de influencia costera de la Reserva de la Biosfera de Pantanos de Centla, Tabasco, México: modelo de interacción. 177-204 p. En: A.V. Botello, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.), *Vulnerabilidad de las Zonas Costeras de Latinoamérica al Cambio Climático*. UJAT, UNAM, UAC, 492 p.
- Monastersky, R. 2015. Anthropocene: The human age. *Nature*, 519(7542):144–147.
- 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 (eds.). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche, 514 p.
- Ortiz Pérez M.A. y L. Gama Campillo. 2019. Dinámica e inestabilidad de la zona costera. En: La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol. I. CONABIO, México, pp. 83-87.
- Redman, C.L. 2005. Resilience theory in Archeology. *American Antropologist*. 107(1):70-77.
- Shaw, J.M. 2003. Climate Change and Deforestation: Implications for the Maya collapse. *Ancient Mesoamerica*. 14(1):157-167.
- Tudela, F. 1989. La modernización Forzada del Trópico: El caso de Tabasco. El Colegio de México, 475 p.
- Yáñez-Arancibia, A., R.R. Twilley y A.L. Lara-Domínguez. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques*. 4(2):3-19.



# ID-191: VULNERABILIDAD HÍDRICA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL EFECTO DE LAS INTERVENCIONES SOCIOAMBIENTALES EN LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA, GUANAJUATO.

Iván Saadiht SÁNCHEZ-BARRERA

<sup>a</sup> Posgrado en ciencias de la sostenibilidad, IIES, UNAM, Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, 58190 Morelia, Mich, email: saadiht@gmail.com

## RESUMEN

El uso intensivo del agua por el sector agroindustrial ha provocado en la cuenca de la Independencia condiciones de escasez hídrica por sobreexplotación del acuífero. Sumado a la crisis hídrica actual, el cambio climático supondrá otro fuerte estresor.

Se tomaron variables climáticas del repositorio global de datos climáticos Worldclim, mientras que los datos de salida de los modelos de circulación global fueron consultados del atlas climático digital de México del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (UNIATMOS). Los análisis fueron para los escenarios del modelo de circulación global GFDL-CM3 para el horizonte cercano 2015-2039 (año 2040) con la ruta representativa de concentraciones (RCP) 4.5 Para el horizonte medio se usaron los datos de salida del modelo MPI-ESM-LR 2045-2069 (año 2070) RCP 8.5.

Para el escenario RCP 4.5 del modelo GFDL-CM3 los volúmenes más altos se presentan en la porción suroeste, con un valor máximo de 101.49 hm<sup>3</sup>, los valores más bajos se distribuirían en al menos la mitad de la cuenca, principalmente la parte central y norte, el valor más bajo podría presentar un déficit de -4.34 hm<sup>3</sup>, mientras que el escurrimiento total de la cuenca sería de 18.78 hm<sup>3</sup>, una reducción de 25.7 hm<sup>3</sup> (57.77 %).

De acuerdo con el modelo MPI-ESM-LR RCP 8.5 el volumen de escurrimiento natural se distribuiría de manera similar al modelo GFDL-CM3, diferenciándose con este en una mayor disminución en comparación con la línea base. Se tendrían valores máximos de 88.01 hm<sup>3</sup> y en algunas zonas déficits de hasta -5.11 hm<sup>3</sup>, con un valor total de 16.05 hm<sup>3</sup>, una disminución de 28.43 hm<sup>3</sup> (63.91 %).

Se calculó el volumen de escurrimiento natural y disponibilidad media de agua superficial, así como las principales variables del balance hídrico, precipitación, temperatura y ETo. Mediante una ponderación de indicadores, mediante jerarquización analítica (AHP), se calculó un índice de vulnerabilidad hídrica global (IVH).

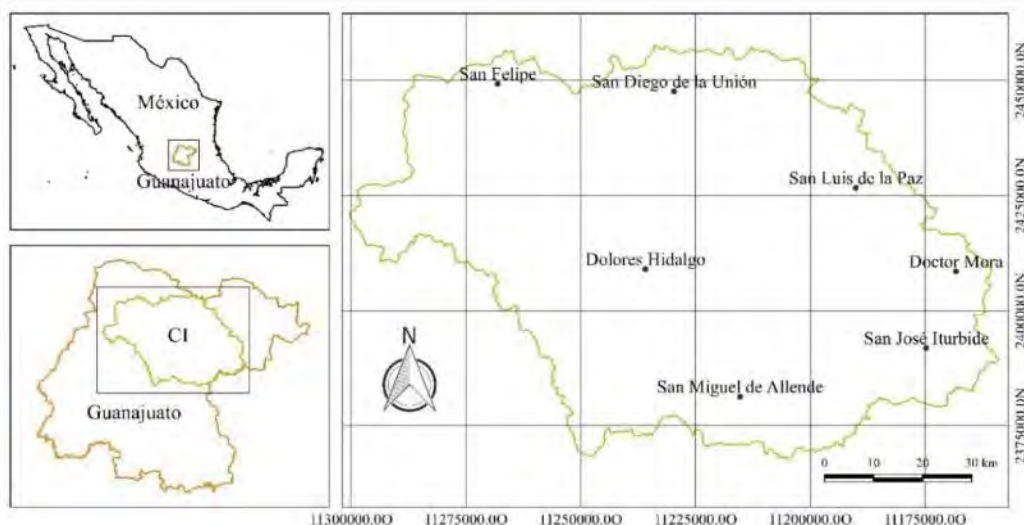
El cálculo del IVH mostró la influencia positiva de las acciones de las ONG's en la reducción de vulnerabilidad, es necesario reescalar las iniciativas, reevaluarlas e intensificarlas en las zonas con los índices actuales más altos.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad, disponibilidad hídrica, escenarios cambio climático, intervención socioambiental.

## 1 INTRODUCCIÓN

La cuenca de la Independencia cubre alrededor de 7,017 km<sup>2</sup> en total, mide aproximadamente 100 km por 70 km de ancho (Palacios y López 2010). También es llamada cuenca alta del río Laja se encuentra al noreste del estado de Guanajuato, formando parte de la región hidrológico-administrativa número VIII – Lerma-Santiago-Pacífico; dentro de este sistema, la cuenca de la Independencia es una de las más importantes por el volumen de descarga que aporta al río Lerma (Mora, Carmona y Cantoral-Uriza, 2015). Se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas: latitud 21° 33' norte, longitud 101° 31' oeste en el extremo noreste y latitud 20° 46' norte, longitud 100° 11' oeste en el extremo suroeste (Palacios y López, 2010). Se ubica a 100 km al sur de la ciudad de San Luis Potosí. Incluye los municipios de San Miguel de Allende, Dolores Hidalgo, San Diego de la Unión, San Luis de la Paz, San Felipe, San José Iturbide, y Doctor Mora (Figura 1).





*Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.*

Todos los municipios que comprende la cuenca dependen en mayor grado de fuentes subterráneas para conseguir el agua para el consumo humano, usos domésticos e industriales (Ortega-Guerrero, 2009). La cuenca de la Independencia se encuentra en condiciones de escasez hídrica debido a las altas tasas de recambio de los acuíferos (De León, 2005).

En la cuenca existe una amplia variedad de cultivos, pero los de mayor importancia son la alfalfa, sorgo, maíz, trigo, avena, cebada, brócoli, cebolla, ajo, apio, coliflor y lechuga. Según las estadísticas estatales, los cultivos de brócoli y lechuga convierten al estado en el primer productor de estas hortalizas en el país. De acuerdo con las estadísticas federales, durante 2009 se cultivaron 200,487 toneladas de brócoli, 60.2% del total nacional de la hortaliza; y en el 2010, se cultivaron 172,166 toneladas de brócoli que representó 56.2% del total nacional (INEGI, 2010). Los cultivos imperantes son monocultivos a gran escala para exportación, con el consiguiente desgaste en suelo y uso intensivo del agua. El cambio de los cultivos tradicionales y básicos a los cultivos forrajeros y hortícolas fue posible debido a la perforación excesiva de pozos profundos mediante sistemas de bombeo, lo que ha dado como resultado la sobreexplotación del acuífero.

Las presiones a este sistema por la agricultura de exportación han derivado en una serie de conflictos entre los agricultores y las poblaciones que ya han sufrido enfermedades por agua contaminada. Por tanto, es importante dilucidar los posibles efectos socioambientales, que los campos agrícolas de exportación pueden provocar en este lugar. Debido al elevado número de factores y actores que se relacionan en estos intrincados procesos, es necesario observarlos como un sistema, es decir, un conjunto de elementos y relaciones específicas que dependen uno de otro para poder ser definidos como un todo, en la cual los elementos no son separables y por lo tanto no pueden ser estudiados aisladamente (García, 2006). Existen varios elementos que pueden ser afectados en cuanto al aprovechamiento hídrico, se promueven transformaciones en los distintos subsistemas involucrados y tendrán efectos en la vulnerabilidad actual y futura, tomando en cuenta las variaciones climáticas.

El estrés hídrico en la cuenca hidrográfica de la Independencia (CI), ha sido un grave problema debido a la concesión de agua para pozos profundos con fines agrícolas. La situación actual del acuífero de la Independencia es de sobreexplotación del agua subterránea, con una tasa de recambio del 100%. El número de perforaciones de los pozos en la Cuenca sigue en aumento. Este aumento de perforación de pozos entre los años 1968 y 2002, han sido para distintos usos, incluyendo el potable, doméstico y agroindustrial. Se empezó a perforar pozos en la cuenca a principios de los años cincuenta, con 250 pozos y para el año 2008 se detectó que el número de pozos en la



cuenca era de 2,368 (Navarro, 2006). Se alcanzó esta gran cantidad de perforaciones en el corto lapso de 60 años, los cuales extraen más de 1,000 millones de m<sup>3</sup>/año. De los pozos que existen en este momento 80% extraen agua del acuífero granular y 20% del acuífero volcánico fracturado (Navarro, 2006).

La CI reúne los elementos principales para considerarla como un sistema hidrogeológico sobreexplotado. Esto es el resultado, por un lado, de una reducida disponibilidad del agua subterránea determinada por las condiciones climatológicas semiáridas, los bajos volúmenes de la recarga y una limitada renovación del recurso hídrico; y por el otro, de la intensiva extracción llevada a cabo durante las últimas décadas. El tiempo de renovación natural del sistema hidrogeológico habla a favor de un recurso hidráulico con características fósiles, no renovable en términos de la escala humana y altamente vulnerable a su agotamiento en las condiciones actuales de explotación (Navarro, 2006).

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### **Cálculo de los parámetros del balance de agua en condiciones de cambio climático.**

Los valores base de las principales variables climáticas fueron tomados de los datos de salida del modelo de circulación global GFDL-CM3 para el horizonte cercano 2015-2039 (año 2040) con la ruta representativa de concentraciones (RCP) 4.5 Para el horizonte medio se usaron los datos de salida del modelo MPI-ESM-LR 2045-2069 (año 2070) con las rutas representativas de concentraciones (RCP) 8.5. Estos escenarios y periodos se seleccionaron debido a la consistencia de las observaciones preliminares, las cuales mostraron una tasa de cambio en precipitación más acorde con la tendencia de los datos base.

Los datos de salida fueron capas raster con resolución de 30" x 30" del atlas climático generado por la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS) del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, disponibles en: [http://atlasclimatico.unam.mx/AECC\\_descargas/](http://atlasclimatico.unam.mx/AECC_descargas/), los cuales son una actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación (Fernández, Zavala, Romero, Conde y Trejo, 2015). La climatología de referencia fue obtenida de la base WorldClim para el periodo 1950-2000, con resolución espacial de 30" x 30", también de la UNIATMOS.

### **Cálculo del volumen de escurrimiento natural y disponibilidad media de agua superficial.**

Los escurrimientos superficiales se estimaron con el método del escurrimiento medio (Flores-López *et al.*, 2003) expresado por la relación:

$$V_m = A * C * P_m$$

Donde:  $V_m$  es el volumen medio anual de escurrimiento natural de la cuenca que puede escurrir en millones de m<sup>3</sup>,  $A$  es el área de la cuenca (en km<sup>2</sup>),  $C$  es el coeficiente de escurrimiento, con valores adimensionales que varían de 0.1 a 1, y  $P_m$  es la lluvia promedio en la cuenca (en mm).

El coeficiente de escurrimiento fue calculado de acuerdo a lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 (D. O. F., 2015), en función del tipo y uso de suelo y del volumen de precipitación anual de la cuenca en estudio, se usaron capas shape del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) para clasificar los suelos de la cuenca, en tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables), y C (suelos casi impermeables), como se especifica en la tabla 2; al tomar en cuenta el uso actual del suelo, se obtuvo el valor del parámetro  $K$ , el cual es un valor en función del tipo y uso de suelo, que luego fue añadido a una capa raster del SIG.

Cada valor  $K$  fue asignado al área correspondiente en la capa suelo, de acuerdo con los valores presentados según la NOM-011-CONAGUA-2015, para luego ser procesado mediante un sistema de información geográfica (SIG), en el software QGIS 3.0 Madeira.

Debido a que en la cuenca en estudio existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de  $K$  se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas.

- Una vez obtenido el valor de  $K$ , el coeficiente de escurrimiento anual ( $C_e$ ), se calculó mediante las fórmulas siguientes (D.O.F., 2015):

Si K resulta menor o igual que 0.15 entonces  $C_e = K (P-250) / 2000$

Si K es mayor que 0.15 entonces  $C_e = K (P-250) / 2000 + (K-0,15) / 1.5$

El coeficiente de escurrimiento promedio en la cuenca se determinó utilizando la media ponderada, expresada por la relación (Flores-López *et al.*, 2003):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n w_i * C_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Donde: C es la media ponderada del coeficiente de escurrimiento en la cuenca,  $w_i$  son los ponderadores en función de la superficie ocupada, en relación con el total de la cuenca  $C_i$ .

Para la identificación del índice de vulnerabilidad hídrica se siguieron los siguientes pasos:

- 1) Identificación de las variables previamente descritas.
- 2) Cálculo de los índices respectivos y normalización, mediante la fórmula:

$$i = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

Donde:  $i$  es el índice normalizado,  $x$  el valor actual,  $x_{min}$  valor mínimo y  $x_{max}$  el valor máximo.

- 3) Ponderación del índice mediante un proceso de jerarquización analítica (AHP) desarrollado por Saaty (2008).
- 4) Cálculo de la vulnerabilidad global.

El índice de vulnerabilidad global (IVG) de acuerdo con lo establecido por la fórmula:

$V = [(Exposición + Sensibilidad) - Capacidad de adaptación]$  (Monterroso *et al.*, 2014) queda formulado como sigue:

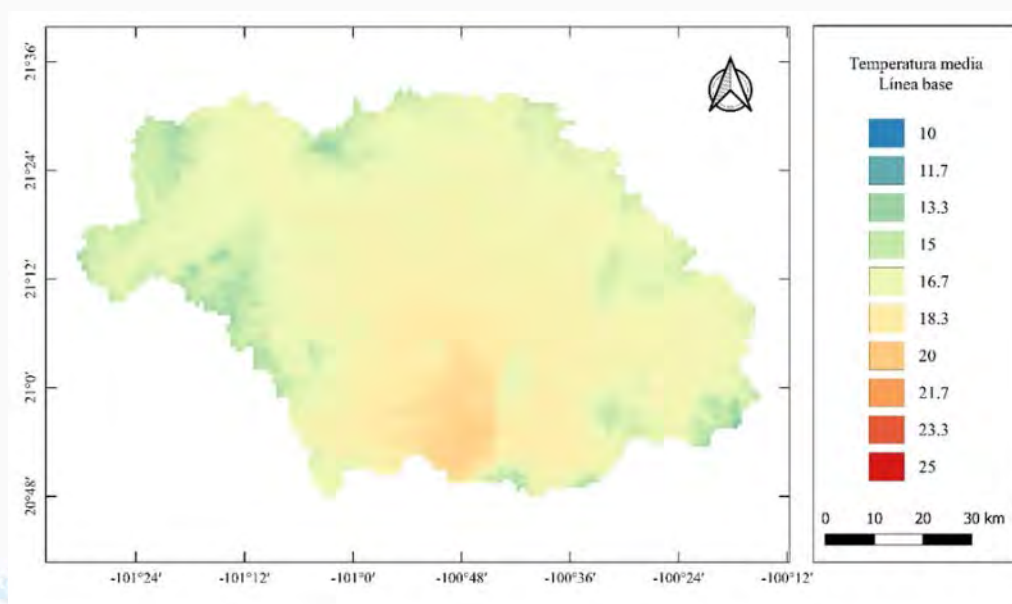
$$IVG = \left[ \left( \sum_{i=1}^p Ew_i * EI_i \right) + \left( \sum_{i=1}^p Sw_i * SI_i \right) \right] - \left( \sum_{i=1}^p Aw_i * AI_i \right)$$

Dónde:  $EI_i$  son los indicadores de exposición;  $Ew_i$  el peso para cada indicador de exposición;  $p$ , es el número total de indicadores para cada componente;  $SI_i$  son los indicadores de sensibilidad;  $Sw_i$  el peso para cada indicador de sensibilidad;  $AI_i$  son los indicadores de capacidades de adaptación;  $Aw_i$  el peso para cada indicador de vulnerabilidad.

### 3 RESULTADOS

En la cuenca se presentan las temperaturas medias más altas en la zona centro-sur entre 20 y 23 °C, en la mayoría de la zona existen temperaturas entre 16 y 18 °C, mientras que las temperaturas más bajas están en la periferia, que corresponden a las zonas con más altitud y con vegetación boscosa, de 13 a 15 °C (Figura 2).

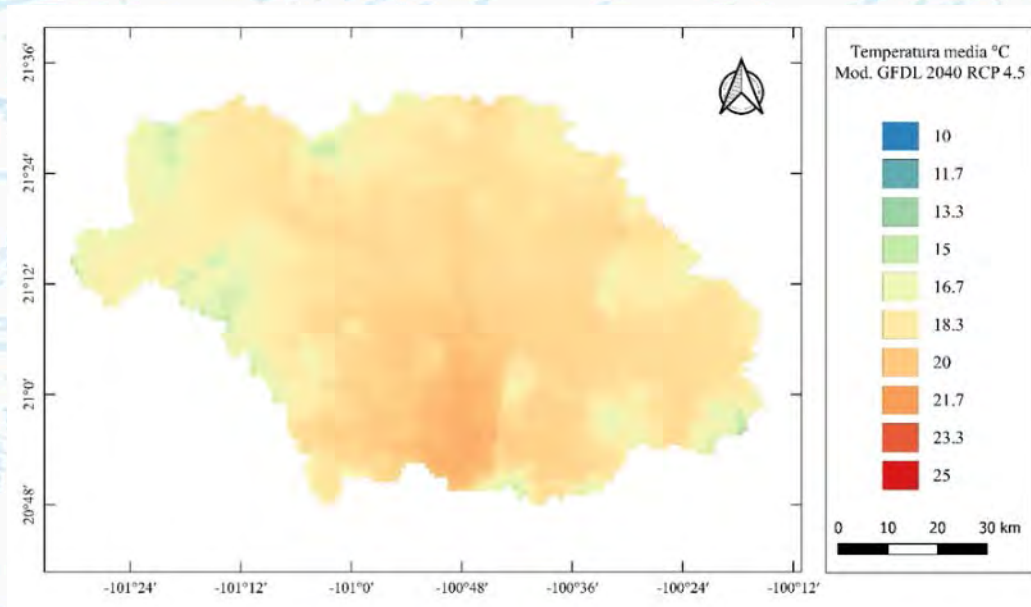




*Figura 2. Mapa de la distribución de la temperatura media anual.*

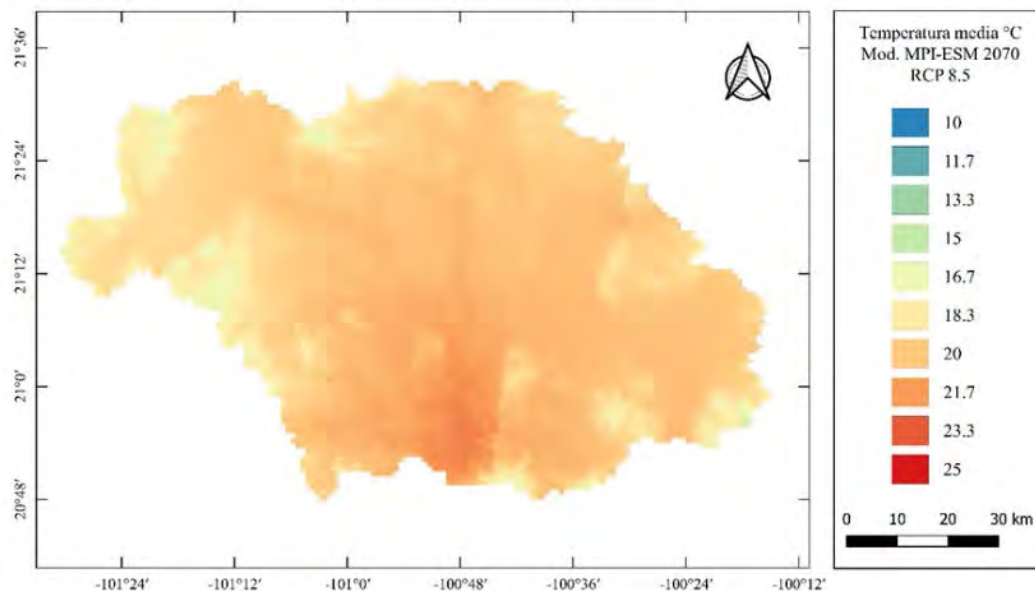
Para los datos de salida del modelo GFDL-CM3 RCP 4.5 año 2040 se espera un aumento de temperatura media de 1.7 °C, aumento de la temperatura máxima anual de 2.5 °C, aumento de la temperatura mínima anual de 0.8 °C, una reducción de 91.6 mm de precipitación y un aumento en la evapotranspiración de 60.4 mm, todos estos parámetros relacionados con la disponibilidad de agua.

La distribución espacial de la temperatura media promedio anual para este modelo es mayor para la zona centro-sur, la mayoría muestra valores de 18 a 20 °C, con pequeñas porciones en la periferia que va de los 15 a 16 °C (Figura 3). Difiere de la temperatura media base en el aumento general para toda el área de la cuenca.



*Figura 3. Mapa de distribución de temperatura modelo GFDL-CM3 año 2040 RCP 4.5.*

Los datos de salida del modelo MPI-ESM-LR RCP 8.5 año 2070 muestran un aumento de temperatura media anual (Tmed) de 2.9 °C, la temperatura máxima incrementaría 3.1 °C, aumento de temperatura mínima anual (Tmin) de 2.4 °C, disminución de 112.4 mm de lluvia y un aumento de evapotranspiración (Eto) de 91.7 mm. Para este escenario también se encuentra un mes con precipitación cero, febrero. Para este modelo el mayor aumento de temperatura se daría en la porción centro-sur de la cuenca (Figura 4).



*Figura 4.* Mapa de distribución de temperatura modelo MPI-ESM-LR año 2070 RCP 8.5.

Los volúmenes de escurrimiento natural de la cuenca presentan valores entre 171.03 Mm<sup>3</sup> a 0.25 Mm<sup>3</sup>, con un valor acumulado para toda la cuenca de 44.48 Mm<sup>3</sup>. Los valores más altos se presentan en la zona suroeste de la cuenca, mientras que los valores más bajos al centro y este (Figura 5). Los escurrimientos naturales se presentan de forma heterogénea, ya que son dependientes no sólo de la lluvia, sino también de los tipos y usos del suelo.

A pesar de ser una zona semiárida, los escurrimientos siguen presentándose y aún permiten que existan afluentes que siguen alimentando los distintos cuerpos de agua, represas, ollas de captación y principalmente la presa Allende, ubicada al sur de la cuenca. Sin embargo, los datos de salida para los dos modelos indican una posible reducción de los escurrimientos naturales, que se irá presentando de forma subsecuente hasta el año 2040.

El escurrimiento total de la cuenca es indispensable para lograr estabilizar las condiciones de estrés hídrico, ya no es posible sobrepasar el uso de estos volúmenes y es necesario reducirlos, debido a la muy posible reducción del escurrimiento natural en el horizonte cercano.



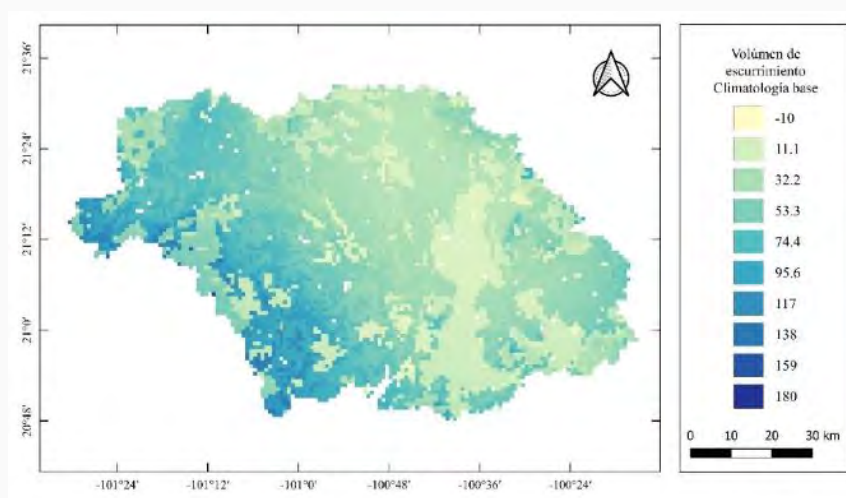


Figura 5. Mapa de los escurrimientos naturales de agua ( $\text{Mm}^3$ ) en la cuenca de la Independencia.

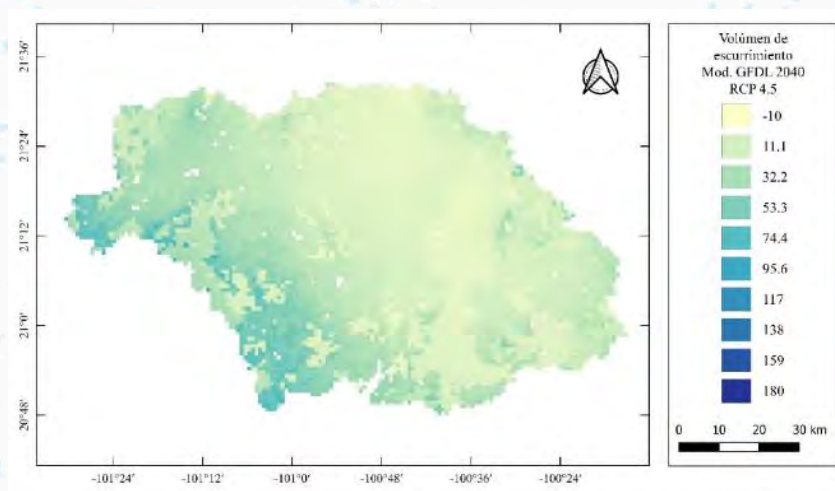


Figura 6. Mapa del volumen de escurrimiento natural ( $\text{Mm}^3$ ), modelo GFDL- CM3 RCP 4.5 año 2040.

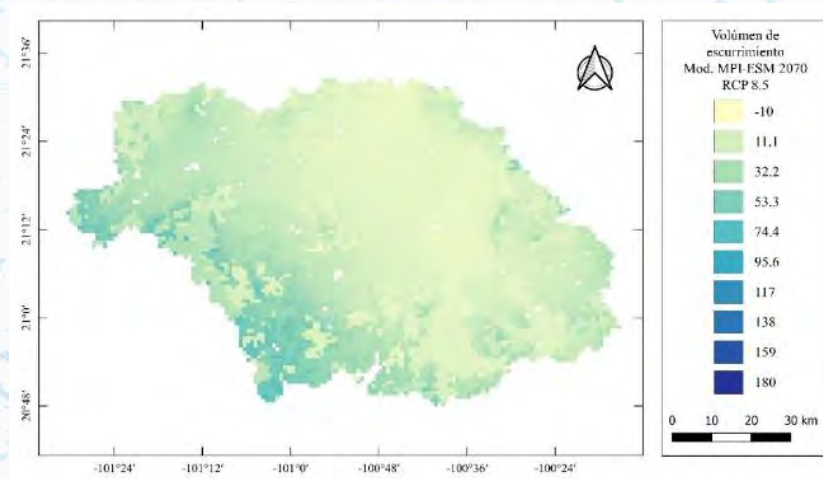


Figura 7. Mapa del volumen de escurrimiento natural, modelo MPI-ESM-LR RCP 8.5 año 2070.

Para el escenario RCP 4.5 del modelo GFDL-CM3 los volúmenes más altos se presentan en la porción suroeste, con un valor máximo de  $101.49 \text{ Mm}^3$ , los valores más bajos se distribuirían en al menos la mitad de la cuenca, principalmente la parte central y norte, el valor más bajo podría presentar un déficit de  $-4.34 \text{ Mm}^3$  (Figura 6), mientras que el escurrimiento total de la cuenca sería de  $18.78 \text{ Mm}^3$ , una reducción de  $25.7 \text{ Mm}^3$  (57.77 %) con respecto de la línea base. De acuerdo con el modelo MPI-ESM-LR RCP 8.5 (Figura 7) el volumen de escurrimiento natural se distribuiría de manera similar al modelo GFDL-CM3, diferenciándose con este en una mayor disminución en comparación con la línea base. Se tendrían valores máximos de  $88.01 \text{ Mm}^3$  y en algunas zonas déficits de  $-5.11 \text{ Mm}^3$ , con un valor total de  $16.05 \text{ Mm}^3$ , una disminución de  $28.43 \text{ Mm}^3$  (63.91 %) con relación a la climatología de referencia. En la mayoría de la cuenca se presentarían valores cercanos a 0.

El índice de vulnerabilidad hídrica en condiciones actuales indica una media de 0.438, en escala de cero a uno. Presenta una sumatoria de 660.87 para las 1506 comunidades evaluadas. El municipio que presentó el índice más alto fue Doctor Mora, con una media de 0.599 para 62 comunidades evaluadas, mínimo de 0.537 y máximo de 0.821. El municipio con los valores más bajos fue San Miguel de Allende, con una media de 0.143, mínimo de cero y máximo de 0.356 para 296 localidades. Los demás municipios se encuentran en un espectro de medias entre 0.448 – 0.568, con un rango mínimo a máximo de 0.353 – 0.798.

Las localidades menos vulnerables se encuentran en la parte central de la cuenca, mientras que los índices más altos se distribuyen al este y al oeste, con rangos similares, en naranja y rojo, mientras que los valores menores en verde al centro-sur y amarillos al centro-norte (Figura 8). Las diferencias tan marcadas entre las localidades de San Miguel de Allende y el resto, se debe a que la mayoría de los programas de ONG's han operado en ahí, lo cual podría indicar que los planes ambientales podrían coadyuvar en la disponibilidad hídrica.

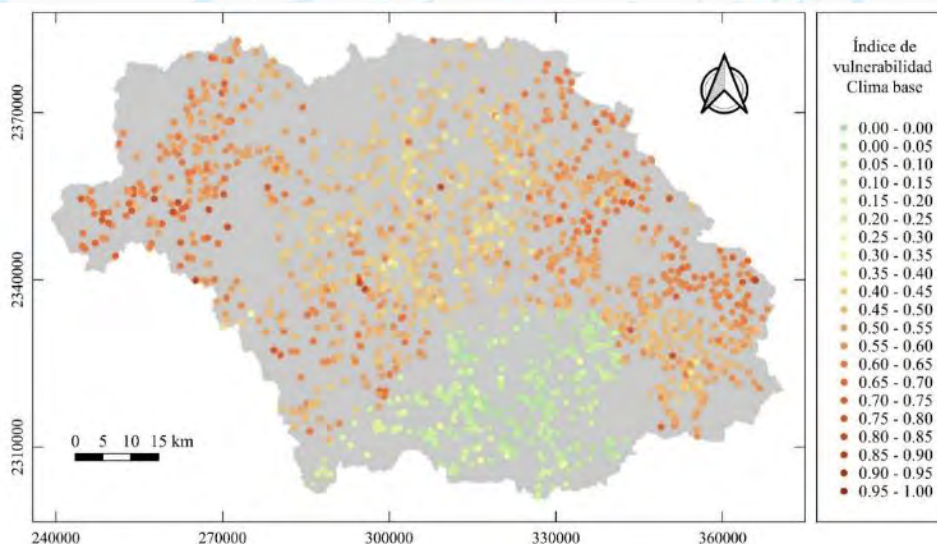


Figura 8. Mapa índice de vulnerabilidad hídrica por localidad.



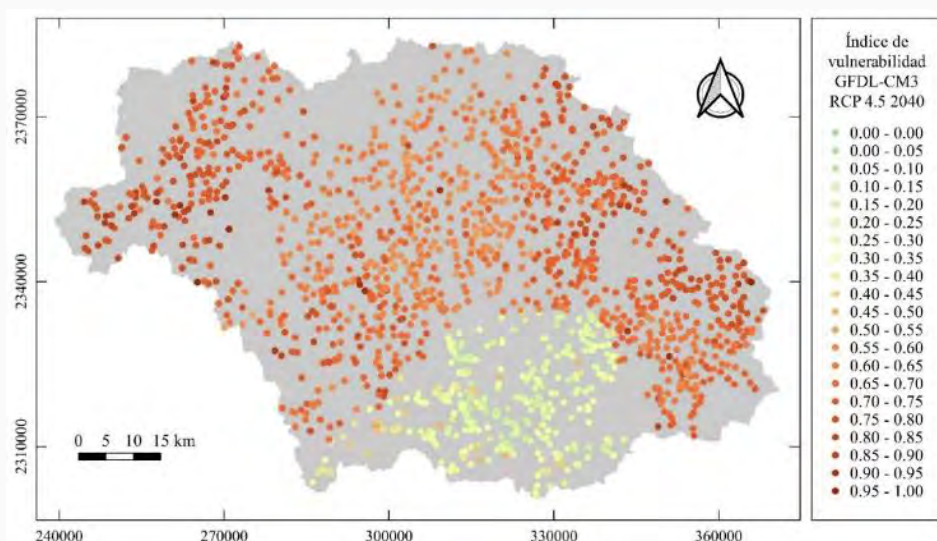


Figura 9. Mapa de vulnerabilidad hídrica modelo GFDL-CM3 RCP 4.5 año 2040.

Para el escenario GFDL-CM3 RCP 4.5 año 2040 el índice de vulnerabilidad se comporta geográficamente de manera similar a la línea base, es decir, los valores más altos a los extremos y los menores al centro de la cuenca (Figura 9). Sin embargo, existe un aumento considerable para cada una de las localidades analizadas. El municipio con valores menores es San Miguel de Allende con una media de 0.298 (incremento de 47.98 %), mínimo de 0.154 y máximo de 0.510. El municipio con valores más altos es Doctor Mora con mínimo de 0.694, máximo de 0.975 y media de 0.75 (incremento de 20.13 %). Mientras que las localidades de los demás municipios se encuentran en intervalos de medias de 0.602 – 0.722, con valor mínimo 0.498 y máximo 0.952 (Figura 9).

Para este escenario los valores, excepto San Miguel de Allende, son más similares entre sí, manteniendo los mismos rangos de medias. El índice de vulnerabilidad hídrica global indica una media de 0.593 y una sumatoria de 893.09 para las 1506 localidades evaluadas.

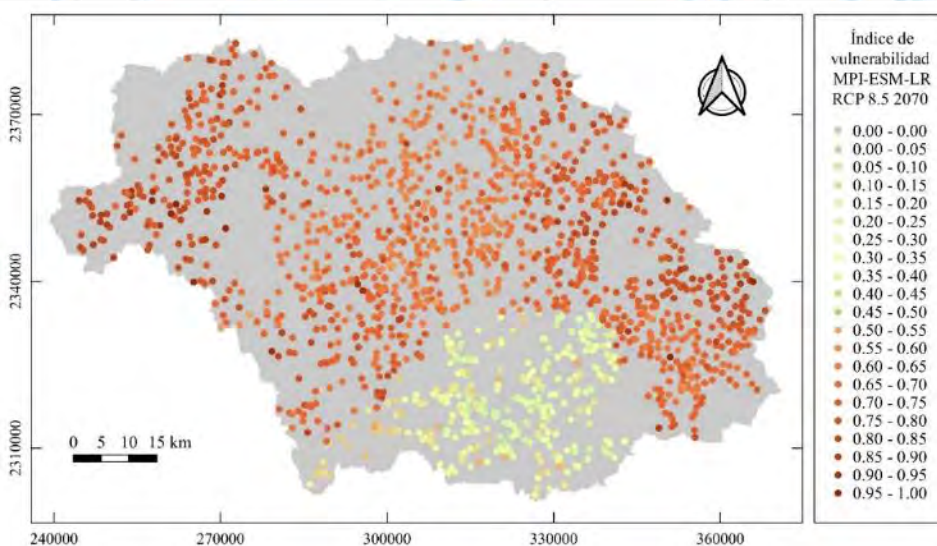


Figura 10. Mapa índice de vulnerabilidad hídrica modelo MPI-ESM-LR RCP 8.5 año 2070.



Para el escenario MPI-ESM-LR RCP 8.5 año 2070 habría una media de 0.617 (29.01 % de incremento). Presenta una sumatoria de 930.46 (28.97 % más con respecto a la línea base) correspondiente a las 1506 localidades que fueron analizadas.

El municipio con valores menores de nuevo resultaría San Miguel de Allende con una media de 0.323 (incremento de 55.72 %), valor mínimo de 0.179 y máximo de 0.535. El municipio con valores más altos también es Doctor Mora con mínimo de 0.721, máximo de 7 y media de 0.778 (incremento de 23.007 %). Mientras que las localidades de los demás municipios se encuentran en intervalos de medias de 0.627 – 0.747, con dato mínimo 0.532 y máximo 0.977 (Figura 10). En general con ligeros incrementos con respecto a los resultados del índice para el modelo GFDL-CM3.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los escenarios de cambio climático indican posibles alteraciones en el balance de agua en la cuenca, principalmente reducciones en los escurrimientos naturales, la precipitación y disponibilidad hídrica; se espera que en los años venideros más efectos adversos en el sistema hidrológico, que ocasionarán distintas reconversiones en los otros subsistemas y en el sistema general.

El cálculo del índice de vulnerabilidad hídrica por localidad permitió entender como la vulnerabilidad se distribuye de forma diferencial dependiente de la escala geográfica y que es altamente probable su aumento conforme se avance en el tiempo y los efectos del cambio climático vayan acumulándose. La reducción de precipitación es uno de los elementos más importantes a tener en cuenta, a pesar de esta reducción, seguirá habiendo lluvia y se requiere la implementación urgente de un nuevo modo de provisionamiento de agua, para la mayoría de las comunidades, ya que la contaminación del acuífero no permitirá que se sigan usando sus aguas para consumo humano.

Mientras existe un mayor número de iniciativas puntuales, o intervenciones locales, por parte de las ONG's los niveles de vulnerabilidad pueden disminuir, como es el caso de San Miguel de Allende, el cual presentó más intervenciones de este tipo. Si bien, para este caso, el nivel de estrés hídrico presente y futuro irá en aumento, la adecuada planeación de intervenciones específicas puede reducir los niveles de afectación y vulnerabilidad. Sin embargo, en cuanto a los distintos reacomodos de subsistemas, es difícil poder mantener las estructuras actuales, ya que las iniciativas están enfocadas sólo a los recursos hídricos, ambiente y cambio climático. Se vuelve más que urgente una adecuada intervención integral que abarque la mayoría de las dimensiones que están promoviendo la vulnerabilidad hídrica en la región.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Conacyt y a la fundación UNAM por el financiamiento para esta investigación

#### 6. LITERATURA CITADA

- Palacios Vélez, E. y López López, C. (2004). Sobreexplotación de las cuencas hidrológicas: el caso de la cuenca del río de La Laja, Guanajuato. En *Manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental* (pp. 117-131). INE/SEMARNAT.
- Mora, D., Carmona, J. y Cantoral-Uriza, E. A. (2015). Diatomeas elípticas de la cuenca alta del río Laja, Guanajuato, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(4), 1024-1040.
- Ortega-Guerrero, A., (2009) Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México, 26 Núm. 1 *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 143-61.
- De León, I. N., Gárfias-Soliz, J. y Mahlknecht, J. (2005). Groundwater flow regime under natural conditions as inferred from past evidence and contemporary field observations in a semi-arid basin: Cuenca de la Independencia, Guanajuato, México. [Régimen de flujo de agua subterránea en condiciones



naturales como se infiere de la evidencia pasada y observaciones de campo contemporáneas en una cuenca semiárida: Cuenca de la Independencia, Guanajuato, México]. *Journal of arid environments*, 63(4), 756-771.

- INEGI (2010). Actividades Económicas. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/agri/default.aspx?tema=E#sp>
- García, R. (2006). Dinámica de los sistemas complejos. *Sistemas complejos: conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona, España: Ed. Gedisa.
- Flores-López, H. E., Ramírez-Vega, H., Byerly-Murphy, K. F., Ruiz-Corral, J. A., Martínez-Sifuentes, J. A., Díaz-Mederos, P., y Alemán-Martínez, V. (2003). Estimación de escurrimiento superficial en la cuenca El Jihuete, México. *Terra Latinoamericana*, 21(3), 389-400.
- Navarro de León, I. (2006). Explotación y renovabilidad del agua subterránea en una cuenca semiárida del Altiplano Mexicano. *Ciencia UANL*, 9(4).
- Fernández Eguarte, A., Zavala Hidalgo, J., Romero Centeno, R., Conde Álvarez, A. C. y Trejo Vázquez, R.I. (2015). Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. INDAUTOR 04-2011-120915512800-203. Recuperado de: [http://atlasclimatico.unam.mx/AECC\\_descargas/](http://atlasclimatico.unam.mx/AECC_descargas/)
- Diario Oficial de la Federación, D. O. F. (2015). 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*. Distrito Federal, México: Secretaría de Gobernación. Recuperado de: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015)
- Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process [Medición relativa y su generalización en la toma de decisiones por qué las comparaciones por pares son fundamentales en las matemáticas para la medición de factores intangibles en el proceso analítico jerárquico/red]. *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas*, 102(2), 251-318.

## ID-279: EFECTOS DE EL NIÑO COSTERO 2017 SOBRE LAS VARIABLES HIDROCLIMATOLÓGICAS EN EL NORTE DE SURAMÉRICA”

Isabel Cristina ACERO RAMÍREZ<sup>a</sup>, Maria del Mar VÁSQUEZ GUTIÉRREZ<sup>b</sup>, Sara Cristina VIEIRA AGUDELO<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Investigación en Ingeniería y Gestión Ambiental (GIGA), Universidad de Antioquia (UdeA), Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia, email: cristina.acero@udea.edu.co

<sup>b</sup> Grupo de Investigación en Ingeniería y Gestión Ambiental (GIGA), Universidad de Antioquia (UdeA), Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia, email: delmar.vasquez@udea.edu.co

<sup>c</sup> Grupo de Investigación en Ingeniería y Gestión Ambiental (GIGA), Universidad de Antioquia (UdeA), Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia, email: sara.vieira@udea.edu.co

### RESUMEN

A principios del año 2017 el este del Pacífico tropical experimentó un calentamiento atípico que persistió hasta finales de marzo, causando fuertes precipitaciones en el norte de Suramérica que ocasionaron múltiples pérdidas a la sociedad, a este evento se le llamó El Niño Costero (ENC) y fue ampliamente imprevisible, ya que su desarrollo fue diferente a otros modos de El Niño Oscilación del Sur (ENSO). En esta investigación se lleva a cabo el análisis comparativo de la variabilidad espacial y temporal de los efectos de ENC 2017 y las fases cálida y fría del ENSO canónico sobre las variables hidroclimatológicas del norte de Suramérica a partir de la elaboración de mapas de anomalías. Adicionalmente, busca conocer si este evento tuvo relación con la variabilidad en la precipitación en esta región, ya que en esta misma época se presentaron fuertes precipitaciones en la cuenca del río Mocoa, Colombia, las cuales desencadenaron deslizamientos y flujos de masas de lodo, para ello se hicieron correlaciones entre la temperatura superficial del mar (TSM) de la zona de influencia de ENC 2017 y la precipitación, obtenida de datos satelitales y datos *in situ* de estaciones de Colombia con rezago de seis meses, para validar resultados se realizó el mismo proceso con estaciones de Perú. Las observaciones de los mapas muestran un calentamiento anómalo en las costas del este del Pacífico tropical, con mayores anomalías positivas de TSM y de precipitación en marzo, por otro lado, los valores de correlación son positivos y significativos sobre la costa de Suramérica y negativas en el continente, lo que significa que a través de este análisis no se puede relacionar las altas precipitaciones en Colombia, se requiere ahondar en el estudio. La investigación sobre los antecedentes del ENSO canónico y el entendimiento de sus modos, es de suma importancia en la formulación de planes de acción climática que busquen definir medidas de adaptación y mitigación ante el riesgo asociado con la variabilidad y el cambio climático, ya que permite profundizar en el entendimiento de las amenazas, dimensionar los impactos que puedan llegar a generar y así reducir la vulnerabilidad.

**Palabras clave:** ENSO, Niño Costero, climatología, riesgo, vulnerabilidad.

### 1 INTRODUCCIÓN

La región norte de Suramérica se encuentra ubicada en la región tropical, por lo cual se ve influenciada por numerosos patrones de circulación atmosférica y fenómenos climáticos de diferentes escalas. En esta región se desarrollan interacciones complejas con la topografía y la vegetación, lo que resulta en una amplia variabilidad espacio-temporal de la hidroclimatología (Poveda, *et al.*, 2002; Poveda, *et al.*, 2011). Al oeste y centro de Colombia se experimenta un ciclo bimodal de precipitación con estaciones marcadas de altas precipitaciones (abril-mayo y septiembre- noviembre) y temporadas de bajas precipitaciones (diciembre-febrero y junio-agosto), esto a causa del doble paso de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Al norte de Colombia, en las costas Caribeñas, se presenta un ciclo unimodal con una temporada de altas precipitaciones (mayo – octubre) que coincide con la posición más al norte de la ZCIT sobre el continente y en junio-agosto en el lado oriental de la cordillera oriental de los Andes, como resultado del encuentro de los vientos alisios cargados de humedad provenientes del Amazonas con los Andes (Poveda, *et al.*, 2011; Hastenrath, 2012; Mejía, *et al.*, 1999). Además, en esta región se tiene la influencia del Chorro del Chocó de bajo nivel que a través de una interacción océano-atmósfera-



topografía desencadena extremas precipitaciones en la costa Pacífica (entre 10000-13000 mm por año) de Colombia (**Poveda, et al.**, 2001).

En territorio peruano, los Andes alcanzan elevaciones por encima de los 5 km, esto representa condiciones climáticas complejas debido a que esta cadena montañosa funciona como barrera del flujo troposférico, permitiendo que existan condiciones secas en la ladera occidental y húmedas en la oriental. Abundantes lluvias se registran en las bajas elevaciones de la ladera oriental de los Andes Peruanos debido al suministro de vapor de agua proveniente del océano Atlántico y la cuenca Amazónica por medio de la evapotranspiración. El régimen de precipitación en el sur tropical de Perú está concentrado en el verano austral en los meses de diciembre a marzo; en el invierno austral hay condiciones secas en la alta montaña y oeste de Perú, mientras que un pico menos marcado se presenta en la temporada seca al lado este de los Andes (**Condom, Rau, & Espinoza**, 2011).

Un fenómeno climático igualmente influyente en esta región tropical es El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) (**Holton**, 2004). El Niño (EN)/La Niña (LN) se caracteriza por el calentamiento/enfriamiento anómalo, tanto de las aguas superficiales del centro como del este del océano Pacífico tropical y se encuentra asociado con el debilitamiento/fortalecimiento de los vientos alisios del este. Sin embargo, el ENSO se ha manifestado de diversas maneras, investigaciones recientes como las de **Ashok, et al.** (2009), han evidenciado la existencia de una variación del patrón de distribución de anomalías de TSM, esta variación se ha denominado ENSO Modoki. Por otro lado, en el año 2017 se presentó un evento, El Niño Costero (ENC), en el cual se experimentó un calentamiento rápido y marcado en el este del Pacífico tropical a principios del año, mientras que en la zona central del Pacífico presentaba condiciones neutrales. Este calentamiento costero favorece los escenarios de convección profunda y da paso a episodios de lluvias torrenciales a lo largo de la costa del norte de Suramérica (**Takahashi & Martínez**, 2017). Ahora bien, ENC 2017 no ha sido el único evento de este tipo, estudios recientes presentados por **Takahashi & Martínez** (2017), **Hu, et al.** (2018), identifican la ocurrencia de otros eventos ENC entre los periodos de 1891 y 2017, además describen la variabilidad en el inicio de cada evento costero. Durante la misma época, la ciudad de Mocoa al sur de Colombia y Piura al norte de Perú experimentaron fuertes lluvias, las cuales desencadenaron deslizamientos y flujos de masas de lodo que, por ejemplo, cubrieron la ciudad de Mocoa. Además se presentaron inundaciones en Piura y regiones cercanas, dejando grandes pérdidas humanas y materiales. Las estaciones de Piura registraron precipitaciones 15 veces más que el promedio acumulado desde enero hasta abril, teniendo en cuenta que esta costa se caracteriza por ser seca (**Courtais**, 2018; **Garreaud**, 2018).

Los eventos ENSO y sus modos en ocasiones generan eventos extremos que plantean riesgos y desafíos para la sociedad, por ello, entender la dinámica de estos fenómenos ayuda a tener una mejor comprensión de los cambios en la magnitud, duración y frecuencia con la que puede ocurrir. Los riesgos no solo están asociados a los eventos climáticos, sino también a la exposición y la vulnerabilidad de las comunidades a estos peligros, donde el incremento de la vulnerabilidad social está ampliamente relacionado con factores como la pobreza, etnicidad, ruralidad y género (**Cardona et al.**, 2012). Por ejemplo, los países en desarrollo como los ubicados en Suramérica son vulnerables ante la variabilidad climática, debido a que las inversiones ante estos eventos se centran más en la recuperación del desastre que en la creación de capacidad de adaptación (**Mirza & Mirza**, 2011). Por consiguiente, la comprensión rigurosa de la magnitud de exposición y vulnerabilidad, además de la adecuada evaluación y análisis de los cambios de esas magnitudes en el espacio y tiempo, son importantes para crear estrategias efectivas de adaptación y gestión del riesgo en desastres (**Hoyos, Escobar, Restrepo, Arango, & Ortiz**, 2013). En este documento se realiza un análisis de la variabilidad espacio-temporal de las variables hidroclimatológicas en la ocurrencia de un evento extremo particular como ENC 2017 y se compara con los promedios de eventos ENSO canónico, además se estudia la relación de las lluvias torrenciales desencadenadas por este evento con las presentes en la ciudad de Mocoa y norte de Perú en este mismo periodo.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis de las variables hidroclimatológicas (precipitación, vientos a 925 hpa, presión, temperatura superficial del mar), durante eventos EN Canónico, LN Canónico y ENC 2017, se utilizaron siete bases de datos. Los periodos de ocurrencia del ENSO fueron identificados por medio del *Índice Oceánico de El Niño*, (ONI), obtenidos de la base de datos de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Con este índice se identificaron los trimestres, diciembre-enero-febrero (DEF) y marzo-abril-mayo (MAM), que también corresponden a los trimestres donde se presenta la evolución de ENC 2017. Una vez identificados los trimestres, se realiza un análisis de compuestos de variables hidroclimatológicas para el ENSO Canónico.



Para la variable precipitación se emplearon cinco bases de datos mensuales, el producto 3B43 de *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM 3B43) con una resolución de  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  para el periodo 1998-2017, la segunda base de datos es obtenida del *Global Precipitation Climatology Project*, (GPCP) de resolución  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  para el periodo 1979-2017, la tercera base de datos es obtenida de *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIANN) con una resolución de  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  para el periodo 2000-2017, la cuarta y la quinta corresponden a 29 y 11 estaciones *in situ* de precipitación, del Instituto de Hidrología y Meteorología del gobierno de Colombia (IDEAM) para el periodo 1998-2017 y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) para el periodo 1998-2017, respectivamente. Por otro lado, para la TSM se emplearon las bases de datos de la NOAA, considerando TSM diaria procesada a mensual, con una resolución de  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  para el periodo de 1981/09-2017. Finalmente, se utilizó la base de datos de reanálisis ERA-Interim, de la cual se obtuvieron las variables presión a nivel del mar y vientos meridional y zonal a 925 hPa, con una resolución de  $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$  para el periodo de 1979-2017.

A partir del análisis de compuestos se obtuvieron los mapas de anomalías para los eventos EN y LN, al igual que para el evento ENC 2017, de cada una de las variables hidroclimatológicas. En el caso de la variable precipitación, se realizaron mapas superpuestos de anomalías de precipitación con las bases de datos TRMM y las estaciones del IDEAM y el SENAMHI, con el propósito de identificar y analizar las variaciones espaciales de los valores obtenidos de manera *in situ* con respecto a los datos satelitales de TRMM.

Por último, se realizó un análisis de correlaciones con rezago de cero hasta 6 meses, entre anomalías de precipitación y dos series indicativas de TSM, para observar la respuesta del régimen de precipitación durante los eventos considerados. La primera serie indicativa corresponde al promedio de anomalías de TSM, obtenidas a partir de los datos de la NOAA, esta serie se utiliza para abarcar toda la zona de calentamiento superficial del mar durante el evento ENC 2017 y la segunda serie indicativa corresponde a la serie índice de TSM en la región Niño 1+2. Las correlaciones se estimaron entre estas series de TSM y anomalías de precipitación de la TRMM, y entre las series de TSM y las estaciones *in situ*.

### 3 RESULTADOS

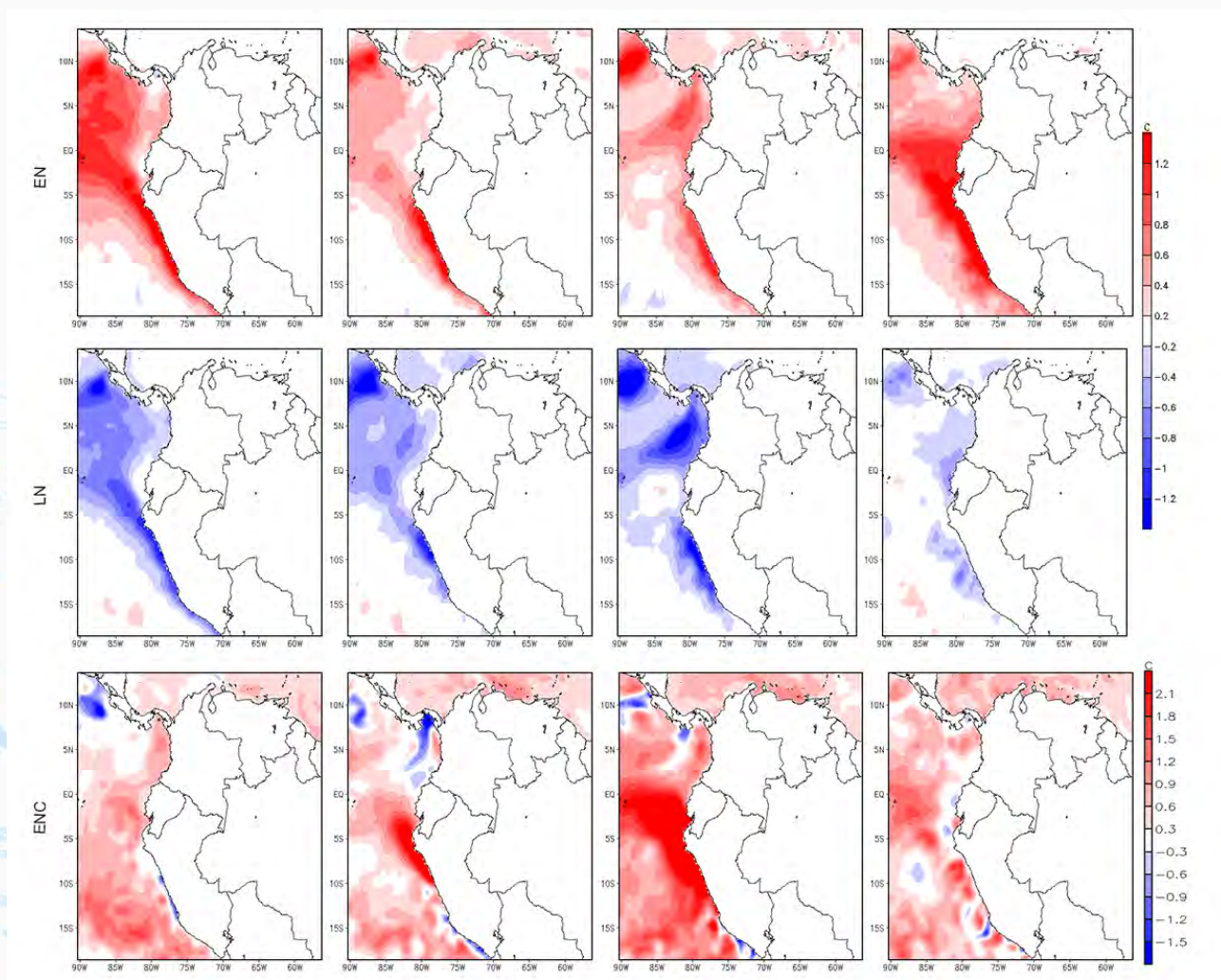
Con el objetivo de hacer una comparación entre diversas bases de datos, se realizaron mapas de precipitación con las bases de datos satelitales de TRMM, PERSIANN y GPCP, y con datos *in situ* de las estaciones del IDEAM y SENAMHI, los resultados arrojan una gran similitud en los patrones de distribución de las anomalías, por consiguiente, el análisis se lleva a cabo con los mapas resultantes de TRMM debido a que presentan una mejor resolución.

#### 3.1 Anomalías de las variables hidroclimatológicas durante el trimestre DEF

En el desarrollo del evento ENC 2017 surgen anomalías de presión ligeramente positivas en el territorio oceánico y la cordillera de los Andes desde el mes de diciembre de 2016 (no mostrado). Para el mes de enero éstas aumentan y cubren mayor territorio continental, además, surgen anomalías negativas de gran magnitud cerca a las costas de Perú, las cuales se asocian al debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) (no mostrado), que según **Echevin et al.** (2018), resulta del cambio de dirección de los vientos hacia el sur en el oeste subtropical del océano Pacífico (que siguiendo la climatología irían desde el sureste hacia la región de la ZCIT), modificando la subsidencia del APS, lo cual provoca la reducción de los vientos alisios del sur a niveles más bajos, a causa de la relajación de los vientos del oeste (Figura 2). En febrero las magnitudes de las anomalías de presión disminuyen (no mostrado), y los vientos alisios del sureste están más desordenados, con predominancia en sentido oeste, además de encontrarse en latitudes más bajas, alrededor de los  $10^{\circ}\text{S}$  (Figura 2). Paralelamente, en el mes de diciembre de 2016 comienzan a emerger anomalías positivas de TSM entre  $0.9^{\circ}\text{C}$  y  $1.5^{\circ}\text{C}$ , principalmente en las costas de Ecuador y Perú. Luego estas anomalías positivas se extienden hasta las costas de Colombia en el mes de enero, como se observa en la Figura 1, propiciando la formación de procesos convectivos cerca de la costa y dentro del continente en el sur de Colombia, Ecuador y norte-centro de Perú. En febrero, las anomalías de TSM son de



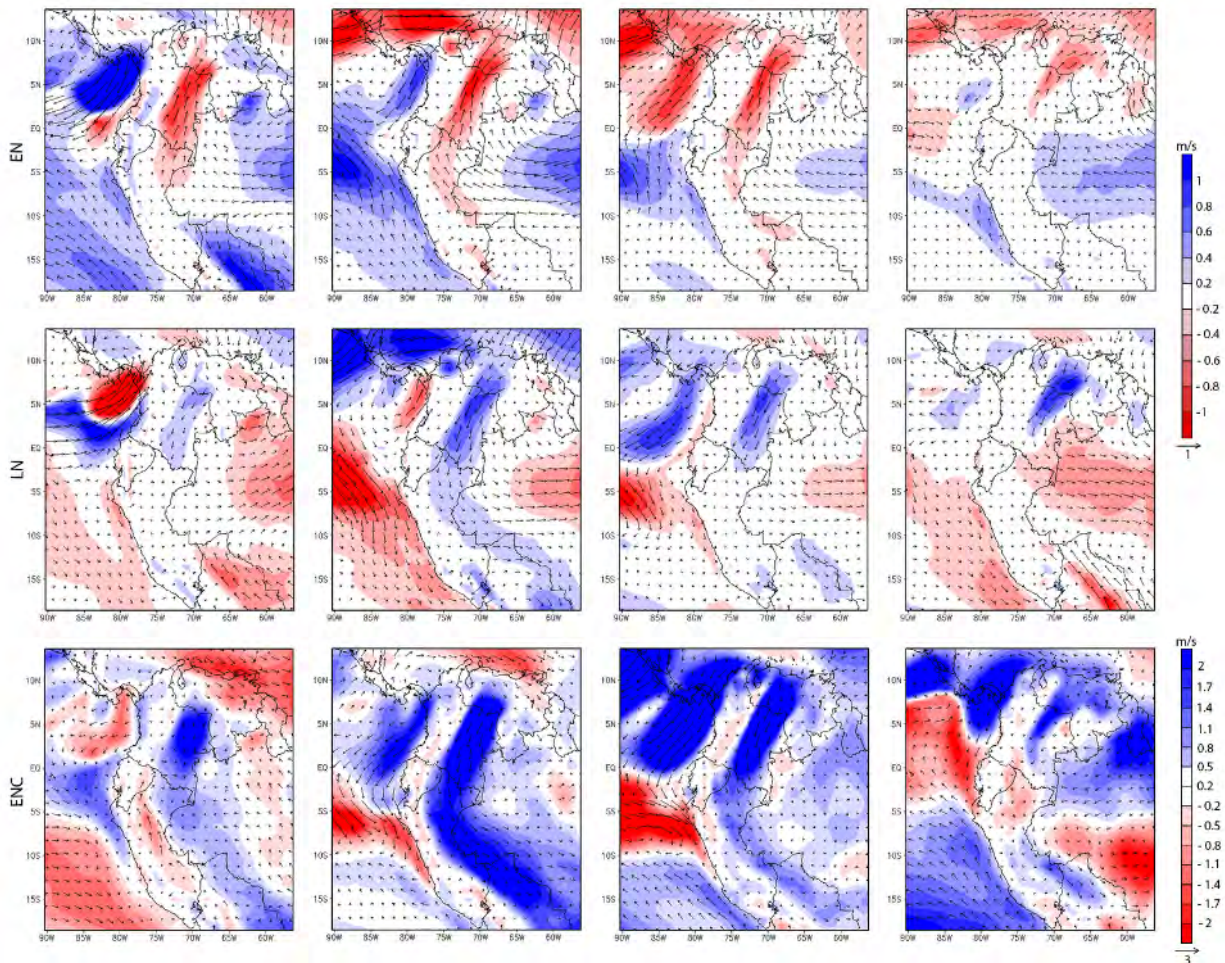
mayor magnitud y concentradas en el norte de las costas de Perú, con valores mayores a  $2.1^{\circ}\text{C}$  (Echevin *et al.*, 2018).



**Figura 1.** Mapas de anomalías de temperatura superficial del mar en  $^{\circ}\text{C}$ , la primera fila hace referencia a EN, la segunda a LN y tercera ENC 2017. Las columnas representan los meses de enero hasta abril.

Los datos de TRMM muestran que durante diciembre de 2016 las anomalías de precipitación son negativas en el norte de Suramérica sobre la costa Pacífica de Colombia y sobre el norte de Bolivia (Figura 3), mientras que un poco más al norte hay presencia de anomalías positivas. Las anomalías en las estaciones del IDEAM Y SENAMHI presentan un patrón similar al obtenido por TRMM. Durante el mes de enero el panorama cambia un poco y se observa que las anomalías positivas de precipitación se desplazan hacia el territorio de Ecuador y Perú, y las anomalías negativas sobre la zona costera de Chocó, Panamá y al sur del norte de Suramérica. Para febrero, los datos muestran una disminución de anomalías positivas en todo el dominio pero que, sin embargo, persisten fuera y cerca de las costas del norte de Perú. En este mes nuevamente hay presencia de anomalías negativas fuera y cerca de la costa de Colombia en el este del Pacífico.





**Figura 2.** Mapas de anomalías de vientos en m/s, la primera fila hace referencia a EN, la segunda a LN y tercera ENC 2017. Las columnas representan los meses de enero hasta abril.

Comparando con los eventos ENSO canónico, en este trimestre durante EN se observan anomalías positivas de TSM (Figura 1) asociadas a anomalías negativas de presión a nivel del mar (no mostrado) en el este de Pacífico. Al oeste del Pacífico ecuatorial se observan anomalías negativas de TSM acompañadas de anomalías positivas de presión a nivel del mar. Un comportamiento similar ocurre en LN pero con signo opuesto. Este comportamiento se asocia con la ocurrencia de anomalías de viento zonal al oeste del Pacífico tropical, lo cual genera un cambio en la dirección de los vientos durante EN y un fortalecimiento de los vientos durante LN (Wang and Fiedler, 2006). Por otro lado, hay que tener en cuenta que las máximas anomalías de TSM en EN y LN ocurren en los meses de noviembre-enero. En la Figura 2 se muestran las anomalías de vientos de enero a abril, sin embargo, desde el mes de diciembre (no mostrado) se observa un cambio de dirección de los vientos a lo largo de la costa de Colombia hacia el oeste con anomalías positivas y negativas en EN, que persisten en enero y febrero principalmente con anomalías positivas, mientras que en LN, los vientos en esta región van con predominancia en dirección este, que siguiendo la climatología irían en dirección sureste entrando a la costa de Colombia. Cerca de las costas de Perú y Ecuador los vientos predominan en dirección noroeste en EN y cambian de dirección hacia sureste en LN, donde normalmente los vientos están organizados en dirección noreste hasta el sur de Colombia. El cambio de dirección de los vientos en EN y LN en la región norte de Suramérica, se observa en las anomalías de viento zonal y meridional (no mostrado).

Por otro lado, en EN se tiene que hay disminución en la precipitación casi en el total del dominio en el mes de enero (Figura 3), sin embargo, a diferencia de las estaciones del IDEAM en Colombia, las cuales en su totalidad registran anomalías negativas de precipitación, las estaciones del SENAMHI al norte de Perú, registran anomalías



positivas de precipitación y negativas más al sur; para el mes de febrero estas magnitudes disminuyen. Caso contrario ocurre durante LN donde la precipitación en las estaciones del SENAMHI localizadas en la región norte de Perú registran anomalías negativas, a diferencia de la mayoría del territorio que muestra anomalías positivas.

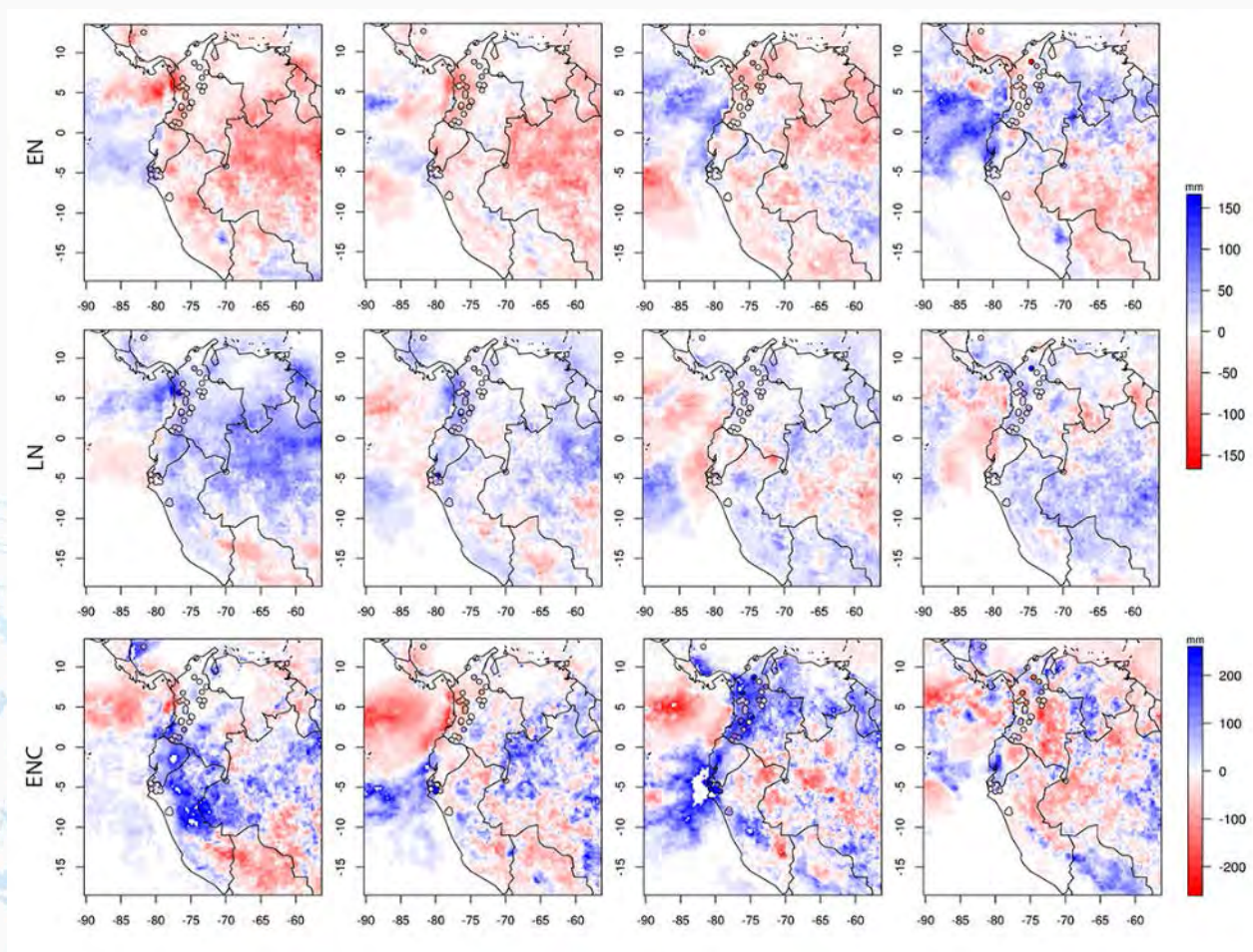
A diferencia de otros eventos costeros, ENC 2017 ocurre durante la fase cálida del ciclo estacional en el este del Pacífico, lo cual favoreció el desarrollo y evolución del fenómeno (Hu, *et al.*, 2018), además del debilitamiento de los vientos alisios del sur, que redujo el calor latente y presentó un incremento rápido de la TSM en las costas de Sur América en el este del Pacífico (Echevin *et al.*, 2018).

### 3.2 Anomalías de las variables hidroclimatológicas durante el trimestre MAM

Para marzo las anomalías negativas de presión, asociadas al debilitamiento del APS (no mostrado), toman más fuerza, lo cual según Garreaud (2018), fue el momento en el que se alcanzaron las mayores TSM (Figura 1). En abril, estas anomalías negativas se desplazan hasta las costas de Ecuador y Colombia y los vientos del oeste subtropical empiezan retornar al patrón de climatología; para este mes las anomalías negativas de presión predominan en el territorio (no mostrado), con una distribución similar a un evento EN. Adicionalmente, cerca de las costas de Suramérica se alcanzan las máximas TSM con temperaturas sobre los 28°C, lo cual representa un estado ideal para convección profunda. Durante el mes de abril, aunque se observan anomalías positivas de TSM en toda la costa de Suramérica, hay algunas regiones donde las anomalías pierden magnitud. En mayo, la lengua fría en el este del Pacífico empieza a volver a su estado de temperatura normal, aunque con algunas anomalías negativas de TSM al norte de Perú. Los resultados de precipitación en el mes de marzo presentan anomalías positivas abarcando todo el territorio de Ecuador y gran parte de la región de Colombia (Figura 3), para Perú las anomalías positivas son más predominantes en las costas del norte y centro, con valores mayores a 300 mm, estos resultados concuerdan con las lluvias torrenciales registradas en esta zona, las cuales golpearon las áridas costas del norte de Perú en el mes de febrero y marzo (Fraser, 2017). Finalmente, para el mes de abril y mayo se evidencia una atenuación de anomalías positivas en las zonas costeras, que se disipan y luego se desplazan hacia el noroeste del dominio.

El aumento de la precipitación observado en el mes de marzo se explica posiblemente por un decrecimiento de la magnitud de los vientos alisios del sureste, que fue ocasionado por un debilitamiento atmosférico externo, el cual podría ser responsable de las dinámicas de la ZCIT en el hemisferio sur, que climatológicamente está presente de febrero-abril en esta región. Este patrón es el que puede coincidir con la convergencia de vientos fuera de las costas del norte de Perú (Takahashi, 2017). Los Andes en la región subtropical generan una barrera en el flujo de los vientos alisios, por lo que el debilitamiento de estos durante ENC disminuye aún más su flujo, aumentando el transporte de humedad hacia el interior del continente que fomenta las altas precipitaciones sobre el centro de los Andes (Garreaud, 2018).





**Figura 3.** Mapas de anomalías de precipitación en mm de la base de datos TRMM color sombreado y los círculos las estaciones del IDEAM en Colombia y SENAMHI en Perú con su respectiva anomalía, la primera fila hace referencia a EN, la segunda a LN y tercera ENC 2017. Las columnas representan los meses de enero hasta abril.

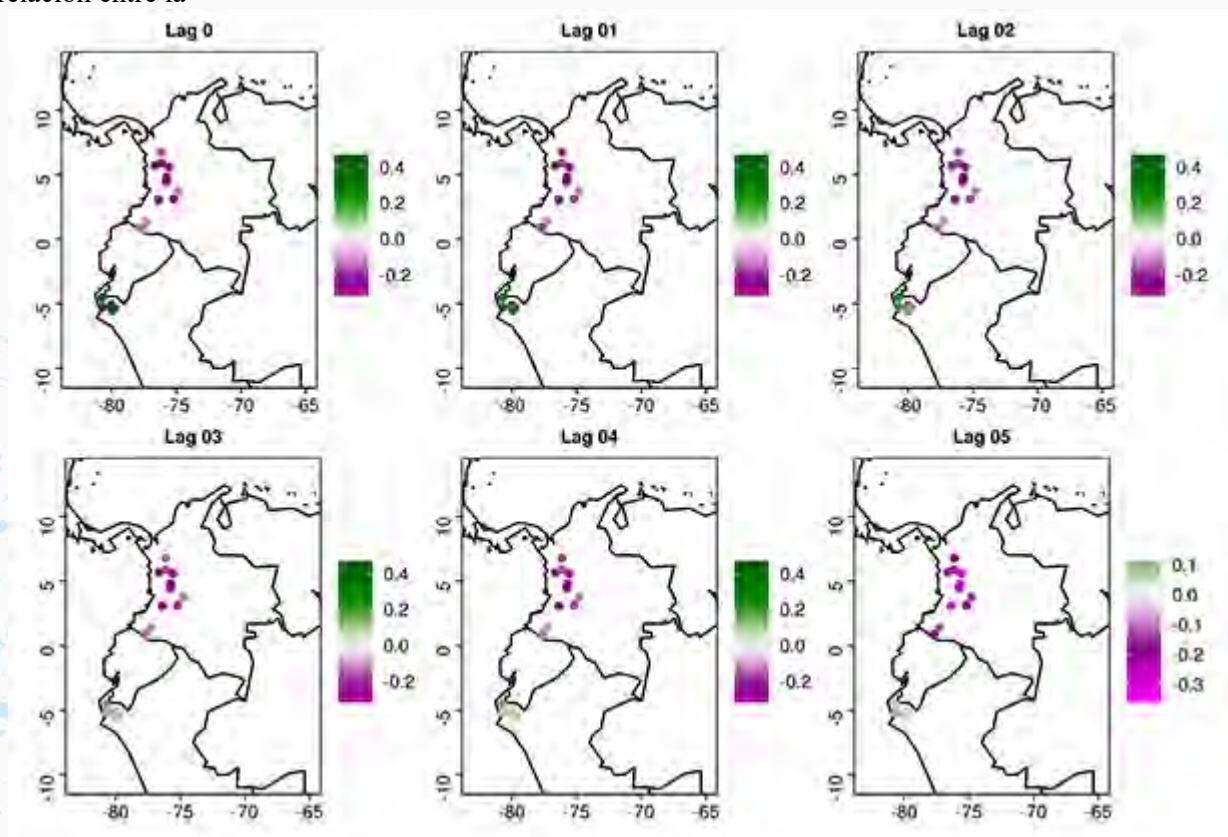
Para el trimestre MAM comienzan a disminuir las anomalías en EN y LN, las anomalías de TSM en LN disminuyen más rápidamente que en EN desde marzo (Figura 1), por otro lado las anomalías de presión permanecen fuertes hasta marzo (no mostrado), luego para abril y mayo disminuyen. Las anomalías de los vientos persisten en este trimestre para ambos modos, con magnitudes menores a partir de abril (Figura 2). Las precipitaciones comienzan a aumentar en marzo durante EN, principalmente en las costas de Ecuador y este del continente, y a disminuir en LN igualmente en esta región (Figura 3).

### 3.3 Correlaciones

Para describir la relación que se presenta entre las anomalías de precipitación de los datos de TRMM en la región de Colombia, Ecuador y Norte de Perú con las anomalías de TSM y de la región Niño 1+2, se realiza un análisis de correlaciones. Las correlaciones significativas entre la precipitación de la base de datos TRMM con la región Niño 1+2 (no mostrado) con un nivel de significancia del 95%, son positivas principalmente en la costa del suroeste de Colombia, Ecuador y norte de Perú, estas correlaciones corresponden a un valor de correlación de bajas magnitudes, ya que los valores están alrededor de +0.4. Las correlaciones positivas pueden ser atribuidas a los procesos convectivos ocurridos en esta región y al incremento que se presentó en la precipitación durante los meses de diciembre hasta marzo de 2017. La región Andina, el Caribe y las costas del noroeste de Colombia muestran correlaciones negativas; se observa que la correlación de la precipitación con la región Niño 1+2 tiene una mayor cobertura de valores estadísticamente significativos de correlación negativa en la región del Caribe, indicando que mientras la TSM aumenta, en esta región la precipitación disminuye.



En la Figura 4 se presentan los valores de correlación entre las series de precipitación de las estaciones del IDEAM; localizadas en la región centro-sur de Colombia, y las series de temperatura de la NOAA y la región Niño 1+2, además de las estaciones del SENAMHI ubicadas al norte de Perú. El análisis realizado evidencia que la correlación entre la



**Figura 4.** Mapas de los resultados de correlación de rezago 0 hasta 5 de las estaciones de precipitación IDEAM del centro-sur de Colombia y SENAMHI del norte de Perú con la serie Niño 1+2 estadísticamente significativas.

serie de precipitación de la región sur de Colombia y el norte de Perú con la serie de TSM cerca de la costa y la región Niño 1+2 es negativa y positiva respectivamente, además de estadísticamente significativa, lo cual concuerda con los resultados que se presentan con TRMM (no mostrado). Los valores de correlación en el rezago cero entre las series de precipitación de las estaciones del IDEAM y la serie Niño 1+2 muestran valores negativos y significativos, excepto para las estaciones La Argentina y las ubicadas en Mocoa (no mostrado), además de las estaciones de Perú ubicadas más al sur que no fueron positivas ni significativas. De igual manera, las correlaciones de las series de estaciones de precipitación con la serie TSM de la NOAA muestran un comportamiento similar al observado en los mapas de correlación con TRMM. En general, para las estaciones ubicadas en el centro-sur de Colombia las correlaciones son negativas y en su mayoría estadísticamente significativas. Por otro lado, las estaciones del SENAMHI localizadas al norte de Perú son las únicas que presentan correlaciones positivas, estas son significativas solo hasta el rezago 3.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Según el análisis de la evolución de las variables hidroclimatológicas durante el desarrollo de ENC 2017, se evidencia que la duración de este evento ocurre en un periodo de tiempo menor al esperado en un evento Canónico, sin embargo, las magnitudes de TSM que se alcanzaron fueron considerables, especialmente para el mes de marzo, donde se observan las mayores magnitudes de anomalías positivas en las costas de Perú y Ecuador, abarcando valores mayores a 2°C. Los resultados de este trabajo concuerdan con las observaciones realizadas por Garreaud, *et al.* (2018) y Echevin, *et al.* (2018), donde se determina que un factor importante sobre el origen del evento fue



el debilitamiento de los vientos alisios del sureste, este factor promovió la disminución del afloramiento de agua frías en las costas de Perú y Ecuador lo que conlleva al aumento de la TSM en esta región. Adicionalmente, se obtiene que el evento ENC 2017 no sigue los patrones de alguno de los modos Canónicos en particular.

Se debe tener en cuenta que este trabajo se centra en el estudio de un evento particular, lo cual dificulta determinar el patrón de comportamiento y distribución de las variables hidroclimatológicas de un fenómeno, sin embargo, este trabajo de investigación aporta resultados parciales acerca del comportamiento de la hidroclimatología del norte de Suramérica durante la ocurrencia de un evento costero, particularmente el ocurrido en el año 2017. Evidentemente hacen falta investigaciones que incluyan un mayor número de eventos para identificar los efectos generales sobre la hidroclimatología de esta región durante este modo ENSO, en especial los ya estudiados e identificados por **Hu, et al.** (2018).

A pesar de que las correlaciones entre TSM y la precipitación fueron negativas en la región de Colombia durante este evento, y no es posible establecer una posible relación entre ENC y las lluvias extremas ocurridas en la cuenca de Mocoa, es de gran importancia estudiar este tipo de eventos para la creación de estrategias de alerta temprana en el marco de la gestión del riesgo con miras a alimentar los modelos predictivos. Para el caso particular de ENC 2017, la NOAA y agencias de meteorología regionales no previeron la ocurrencia de los altos niveles de precipitación lo cual dio paso a la ocurrencia de emergencias en Perú por las inundaciones ocasionadas por este evento (**Venkateswaran, et al.**, 2017). Sin embargo, la capacidad de resiliencia de los territorios expuestos a riesgos asociados a eventos extremos depende de la reducción de la vulnerabilidad, que a su vez depende de factores como la pobreza, mecanismos de apoyo social y de comunicación. Por otro lado, la degradación del ambiente y la intervención de los ecosistemas aumenta la recurrencia de otros riesgos en cadena (**Cardona et al.**, 2012).

Desde las diversas figuras que ofrece el ordenamiento territorial colombiano se hace posible prevenir los desastres desde la identificación de las amenazas, como, por ejemplo, a partir de una adecuada utilización del territorio de acuerdo a la vocación que tenga. Por consiguiente, las herramientas que ofrecen los planes de manejo y ordenación de cuencas y los planes de ordenamiento territorial son elementos fundamentales a la hora de reglamentar la gestión del riesgo de desastres ya que pueden orientar los procesos de reasentamiento poblacional, como el que hubiera evitado la catástrofe de Mocoa si se hubiera llevado a cabo aprovechando casi cincuenta años de evolución de la normativa y la institucionalidad creada para la gestión del riesgo de desastres. (**Vásquez, et al.**, 2018). Un caso similar ocurre con LN 2010-2011, que ocasionó numerosas inundaciones y deslizamientos en todo el país, el estudio de los impactos de LN 2010-2011 por **Hoyos, et al.** (2013), encuentra que la vulnerabilidad ante este evento se asocia con el acceso restringido a los servicios públicos, educación limitada, materiales de construcción de viviendas y hacinamiento. De igual manera, Perú cuenta con un sistema de gestión del riesgo conformado por entidades nacionales que manejan los riesgos, instituciones que brindan capacitación técnica y fondos disponibles para que los gobiernos regionales y locales hagan lo propio. Pero estas instituciones son recientes y se encuentran aún en desarrollo (**Venkateswaran, et al.**, 2017).

## **.5. AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos al Instituto de Hidrología y Meteorología del gobierno de Colombia (IDEAM) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) por brindarnos los datos para hacer posible este estudio. A la profesora Sara Cristina Vieira por asesorar y dirigir esta investigación.

## **6. LITERATURA CITADA**

- Ashok, K., Yamagata, T. 2009. The El Niño with a difference. *Nature*. 461: 481-484.
- Cardona, Omar Dario, Maarten Van Aalst, Red Cross, Red Crescent, Climate Centre, Joern Birkmann, and Maureen Fordham. 2012. Determinants of Risk: Exposure and Vulnerability.
- Condom, T., Rau, P., & Espinoza, J. C. 2011. Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998 – 2007, 1933(January), 1924–1933. <https://doi.org/10.1002/hyp.7949>
- Courtais, M. 2018. Case Study of March 2017's Mudflow in Mocoa, Colombia. *Facing Environmental Issues*.



- Echevin, V., Colas, F., Espinoza-Morriberon, D., Vasquez, L., Anculle, T., and Gutierrez, D. 2018. Forcings and Evolution of the 2017 Coastal El Niño Off Northern Peru and Ecuador. *Front. Mar. Sci.* 5:367. doi: 10.3389/fmars.2018.00367
- Fraser, B. 2017. Peru's floods teach tough lessons. *Nature* 544:405–406
- Garreaud, R. 2018. A plausible atmospheric trigger for the 2017 coastal El Niño. *International Journal Of Climatology*. doi:10.1002/joc.5426
- Hastenrath, S. 2012. *Climate dynamics of the tropics* (Vol. 8). Springer Science & Business Media.
- Holton, J. R. 2004. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Elsevier. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hoyos, N., J. Escobar, J. C. Restrepo, A. M. Arango, and J. C. Ortiz. 2013. Impact of the 2010 e 2011 La Niña Phenomenon in Colombia , South America : The Human Toll of an Extreme Weather Event. *Applied Geography* 39(September 2011):16–25.
- Hu, Z.-Z., Huang, B., Zhu, J., Kumar, A., and McPhaden, M. J. 2018. On the variety of coastal El Niño events. *Clim. Dyn.* 1–16. doi: 10.1007/s00382-018-4290-4
- Mirza, M. M. Q., & Mirza, M. M. Q. 2011. Climate change and extreme weather events : can developing countries adapt ?. 3062. <https://doi.org/10.3763/cpol.2003.0330>
- Poveda, G., Mesa, O., Agudelo, P., Álvarez, J., Arias, P., Moreno, H., & Vieira, S. 2002. Influencia de ENSO, oscilación Madden-Julian, ondas del Este, huracanes y fases de la Luna en el ciclo diurno de la precipitación en los Andes Tropicales de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 5, 3-12.
- Poveda, G., Álvarez, D.M. & Rueda, O.A. 2011. Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: a review of climatic processes and their impact on one of the Earth's most important biodiversity hotspots. *Climate Dynamics*, 36, 2233–2249.
- Prácticas, S. 2017. Perú 2017: Riesgos, desastres y reconstrucción.
- Takahashi, K. and Martínez, A. 2017. The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*.
- Vásquez Santamaría, J. E., Gomez Velez, M. I., & Martinez Hincapie, H. D. 2018. La avenida torrencial de Mocoa, Putumayo, ejemplo de una retrospectiva sin punto final en la gestión del riesgo de desastres detonados por eventos naturales?. *Revista de Derecho*, (50), 145-186.
- Venkateswaran, K., MacClune, K. and Enríquez, M.F. 2017. *El Niño Costero: The 2017 Floods in Peru*. Zurich Flood Resilience Alliance.

# **ID-293: MODELACIÓN ESTOCÁSTICA DE LOS EVENTOS DE CAUDALES MÁXIMOS DEL RÍO FONCE (SAN GIL, COLOMBIA) CON FINES DE DISEÑO DE OBRAS – FASE I: APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PEARSON**

Diana Carolina PALACIO GÓMEZ, Julian Guillermo RAMIREZ NEIRA

ESING,diana.palacio@esing.edu.co

ESING,juliangramirez@hotmail.com

## **RESUMEN**

Los eventos de caudales máximos en los ríos cuentan con una gran diversidad de estudios en Colombia. El enfoque tradicional recomienda aplicar uno de los modelos estadísticos de Gumbel (Tipo I, II y III según el caso), en el cual se asume que el proceso hidrológico es estacionario, es decir, sus momentos estadísticos no varían con el tiempo o espacio. No obstante, en el país desde hace un par de lustros se vienen evidenciando comportamientos en los procesos hidrológicos de tipo no estacionario.

Diversos expertos en el país han cuestionado recientemente la hipótesis de estacionariedad en los procesos meteorológicos e hidrológicos y plantean nuevos retos a la ingeniería, relacionados con el diseño de las obras ante procesos estocásticos no estacionarios. El reto principal radica en la estimación de la probabilidad de excedencia de un valor de caudal para el diseño de una obra ante una tendencia (al aumento o disminución) de los caudales.

Este trabajo responde a la interrogante ¿evidencian las propiedades estadísticas de los caudales máximos del río Fonce (San Gil, Santander) un proceso hidrológico no estacionario? Para ello, se compilan los valores máximos de caudales del río, se revisa su independencia (mediante el coeficiente de autocorrelación), su homogeneidad (con los criterios de Student y Fisher) y se estiman los momentos estadísticos (aplicando el método de Pearson). Posteriormente, se construyen los histogramas de frecuencias y se les ajusta un modelo estadístico tradicional y otro del Sistema de Pearson.

Los resultados del trabajo evidencian que los caudales máximos presentan un comportamiento de proceso estocástico no estacionario. El trabajo es producto del proyecto que se encuentra a cargo del Grupo de Investigación Institucional de Ingenieros Militares, en la línea de investigación OMAIRA de Escuela de Ingenieros Militares, aprobado por el Comando de Educación y Doctrina CEDOC de la Dirección de Ciencia y Tecnología DITEC del Ejército Nacional de Colombia.

**Palabras clave:** Modelación estocástica; cambio climático; cuenca del río Fonce; diseño de obras ; Sistema de Pearson.

## **INTRODUCCIÓN**

En Colombia se aplican diversas metodologías sobre la modelación hidrológica para la estimación de los periodos de retorno de los caudales máximos para el diseño de una obra, a saber: a) el “Manual de Drenaje y Carreteras” del instituto INVIAS (INVIAS, 2011), en el cual se recomienda utilizar el modelo estadístico de Gumbel (tipo I, II o III) o el modelo Log Pearson III; b) en los “Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua” del instituto IDEAM (IDEAM, 2013) se recomienda realizar la regionalización de caudales máximos (que permite mediante la información existente en una determinada unidad hidrográfica de análisis, estimar esta variable hidrológica en lugares carentes de datos o bien donde los existentes resultan insuficientes por cantidad o por calidad), la cual se soporta en un análisis estadístico de las variables hidrológicas, la utilización de diferentes distribuciones de probabilidad teórica y ecuaciones de regionalización; c) En el reporte técnico “Frequency and risk analyses in hydrology” del Water Resources Publications se recomienda ajustar un modelo estadístico teórico de un gran conjunto que se describen en el documento. En las metodologías reportadas se brindan los detalles de los procedimientos para realizar los cálculos de estimación de la probabilidad de excedencia de un valor de caudal máximo y así obtener el valor del periodo de retorno. No obstante, en los últimos años diversos autores (Domínguez C., 2010; Poveda G, 2012; Rivera H., 2013; Palacio Gómez D., 2016) afirman que el uso de las destrezas científicas tradicionales en el modelado de los caudales máximos está supeditado al



cumplimiento del principio estadístico de proceso estocástico estacionario el cual permite establecer una relación directa entre pasado – presente – futuro; es decir, que los valores futuros de los caudales que se obtienen mediante el modelado estadístico se someten a la propiedad de proceso estacionario, cuando los momentos estadísticos de las series no varían con el paso del tiempo (permanecen constantes en diferentes periodos de tiempo).

Este trabajo trata sobre la necesidad de auscultar la hipótesis de estacionariedad para el caso de los caudales máximos del río Fonce (Santander, Colombia) aplicando el Sistema de Pearson. Es producto del proyecto de investigación de la Maestría de Gestión del Riesgo de la Escuela de Ingenieros Militares, aprobado por el Comando de Educación y Doctrina CEDOC de la Dirección de Ciencia y Tecnología DITEC del Ejército Nacional de Colombia, en la línea de investigación OMAIRA del Grupo de Ingenieros Militares.

En el trabajo se compilan los datos de los valores máximos de caudales del río Fonce en la estación San Gil, la cual es operada desde 1955 y en la actualidad está a cargo del instituto IDEAM. Se toman para el análisis tres periodos de tiempo, así: a) 1955-2016, b) 1955-1985, c) 1986-2016. Para cada uno de ellos se revisa su independencia (mediante el coeficiente de autocorrelación), su homogeneidad (con los criterios de Student y Fisher) y se estiman los momentos estadísticos. Posteriormente, se construyen los histogramas de frecuencias y se les ajusta un modelo estadístico tradicional y otro del Sistema de Pearson.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### Compilación de datos

Para este estudio se compilaron los datos de los valores máximos de caudales en la estación hidrológica más cercana al cierre de la cuenca del río Fonce, ubicada y operada desde 1955 por el instituto IDEAM.

La información fue suministrada de manera gratuita por el instituto IDEAM y comprende datos desde 1955 hasta 2016. Estos datos se obtienen mediante procedimientos hidrométricos descritos en [1]; sobresale el uso de los instrumentos de medición de miras hidrométricas y molinetes desde 1955. Los procedimientos de medición incluyen la medición de los niveles del agua, el cálculo de la velocidad del agua a partir de la rotación del eje del molinete y el cálculo de los valores de caudal aforado ( $Q_a$ ) con la fórmula  $Q=A \times V$ , en donde  $A$  es el área media de la sección en la estación hidrológica y  $V$  la velocidad media del agua. Los valores máximos anuales corresponden a los valores máximos estimados a lo largo del año calendario. Cabe señalar que puede existir una gran diferencia entre los valores máximos anuales de caudales estimados mediante la metodología del IDEAM y los valores máximos anuales que realmente se presentan en el cauce del río Fonce; a la fecha no existen estudios que hubiesen determinado esa diferencia.

### Procesamiento de datos

El procesamiento de datos es una etapa preliminar para aplicar el método estadístico tradicional que consiste en explicar el comportamiento de los valores máximos de caudales anuales con énfasis en un proceso estocástico estacionario.

El procesamiento consiste en aplicar las pruebas de calidad de datos, la prueba independencia y homogeneidad (Student y de Fisher).

## Prueba de independencia y homogeneidad

De acuerdo con [3] los datos hidrológicos que conforman una serie temporal para ser sometidos al análisis estadístico tradicional deben evidenciar que son independientes y homogéneos.

### Prueba de independencia

El análisis de la aleatoriedad en la serie de datos permite definir la independencia o dependencia, para lo cual se utiliza el coeficiente de correlación, que en este caso se denomina “coeficiente de autocorrelación”: se correlacionan los datos de una estación entre sí mismos. La correlación se realiza tomando los datos que componen la serie temporal y se desfasa en un tiempo (si los datos son valores anuales, se desfasa en un año).

#### a) Análisis de independencia en el periodo 1955-2016

En este caso la serie temporal consta de datos desde 1955 hasta 2016, entonces se conforman varias series de datos ficticias: la primera serie irá desde 1955 hasta 2010, la segunda desde 1956 hasta 2010, la tercera desde 1957 hasta 2010, la cuarta desde 1955 hasta 2010, la quinta va desde 1955 hasta 2010 y así sucesivamente se conforman varias series de datos; luego se estima el coeficiente de correlación (denominado en este caso “autocorrelación”) entre todas esas series de datos, que fueron desfasadas en un año.

#### b) Análisis de independencia en el periodo 1955-1985

En este caso la serie temporal consta de datos desde 1955 hasta 1985, entonces se conforman varias series de datos ficticias: la primera serie irá desde 1955 hasta 1980, la segunda desde 1956 hasta 1980, la tercera desde 1957 hasta 1980, la cuarta desde 1955 hasta 1980, la quinta va desde 1955 hasta 1980 y así sucesivamente se conforman varias series de datos; luego se estima el coeficiente de correlación.

#### a) Análisis de independencia en el periodo 1986-2016

Se aplica el procedimiento similar descrito para los dos casos anteriores.

Con los valores del coeficiente de autocorrelación por cada desfase temporal se construye el gráfico del autocorrelograma, el cual se muestra a continuación para la estación hidrológica San Gil.

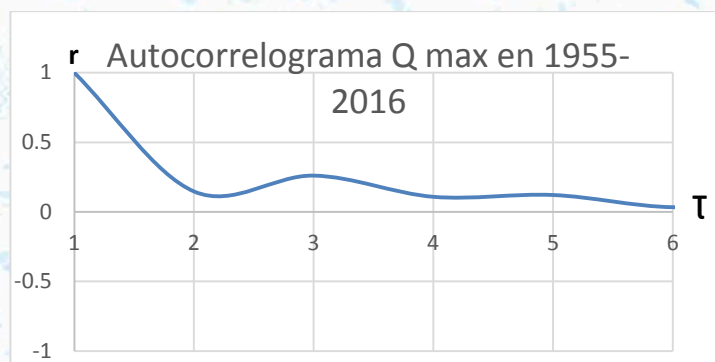


Figura 1.



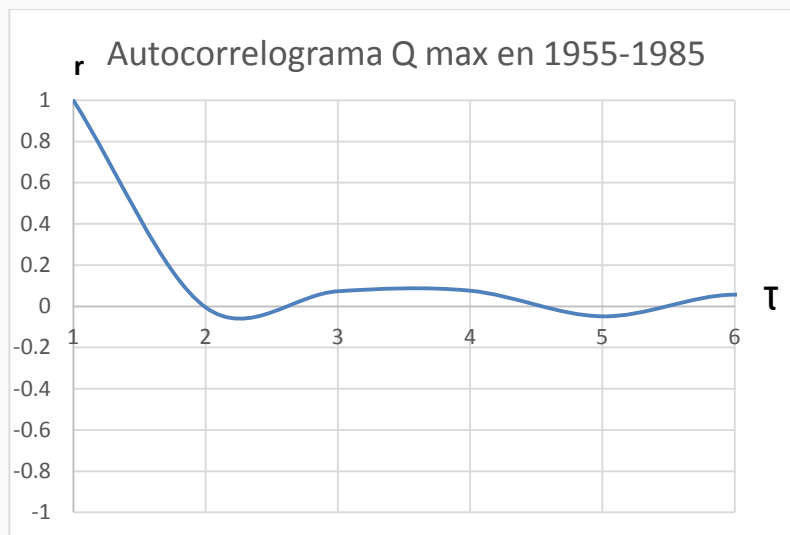


Figura 2.

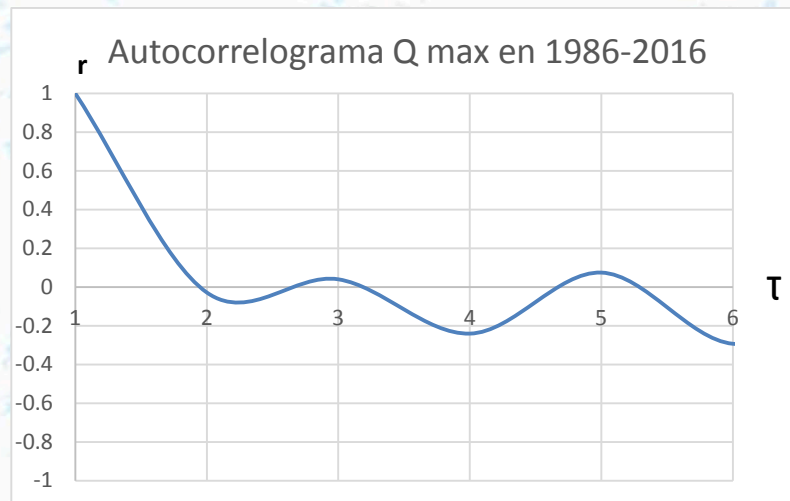


Figura 3.

Como se puede apreciar, los correlogramas demuestran que las memorias de los datos en las series de datos no presentan una correlación significativa y por lo tanto se puede inferir que son independientes o aleatorios (valores de  $r$  menores a 0,5 y mayores a -0,5).

#### Pruebas de homogeneidad

Las pruebas de homogeneidad pretenden inferir sobre la homogeneidad de algunos momentos estadísticos como la media y la varianza (o desviación estándar). Para ello, se suelen utilizar los métodos de Student y Fisher ampliamente conocidos en estadística.

#### Prueba de Student (T)

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba  $t$  (prueba de hipótesis de Student), si los valores medios ( $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ ) de las muestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95% o como dicen los expertos con el 5%, 10%, 15% u otro nivel de significancia. Para aplicar esta prueba se aplica el siguiente procedimiento:

- 1) Se toma la serie de datos completa o complementada
- 2) Se plantea la hipótesis de que las medias son similares o iguales

- 3) La serie se divide en dos partes
- 4) A cada parte de la serie se le estima el valor promedio o la media ( $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ ) y las desviaciones estándar
- 5) Se aplica la prueba t y se selecciona una t teórica (con un 5%, 10%, 15% u otro nivel de significancia)
- 6) Se comparan los valores de la t calculada y la t teórica
- 7) Según la diferencia entre la t calculada y la t teórica se confirma o se niega la hipótesis planteada

Cálculo de la media y de la desviación estándar para las muestras, con las fórmulas:

$$\begin{aligned}\bar{x}_1 &= \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i & ; & & S_1(x) &= \left[ \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ \bar{x}_2 &= \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j & ; & & S_2(x) &= \left[ \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}\end{aligned}$$

Donde:

$x_i$  = valores de la serie del período 1

$x_j$  = valores de la serie del período 2

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$  = media de los períodos 1 y 2 respectivamente

$S_1(x), S_2(x)$  = desviación estándar de los períodos 1 y 2 respectivamente

$n$  = tamaño de la muestra

$n_1, n_2$  = tamaño de las muestras

$n = n_1 + n_2$

Cálculo del t calculado ( $t_c$ ) según:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}}$$

Donde:  $\mu_1 - \mu_2 = 0$  (por hipótesis, la hipótesis es que las medias son iguales)  
quedando:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\bar{d}}}$$

además:

$$\begin{aligned}S_{\bar{d}} &= S_p \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \\ S_p &= \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}\end{aligned}$$

Siendo:

$S_{\bar{d}}$  = desviación de las diferencias de los promedios

$S_p$  = desviación estándar ponderada

Cálculo del t teórico (en forma tabular)  $t_t$ :

El valor crítico de t se obtiene de las tablas de distribución t de Student, con una probabilidad al 95%, o con un nivel de significación del 5%, es decir con  $\alpha/2=0.025$  y con grados de libertad  $v = n_1 + n_2 - 2$ ,

Comparación del  $t_c$  con el  $t_t$ :

Si  $|t_c| \leq t_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$  (estadísticamente)

En este caso, siendo las medias  $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$  estadísticamente, entonces la serie es homogénea.

A continuación, se presentan los resultados de la aplicación de la prueba de Student a los datos.



Tabla 1. Resultados de la prueba de Student

ESTACION	VARIABLE	STUDENT		CUMPLE
		tc	tt	
San Gil	Valores máximos de caudales	3,42	2,0	No

Como se puede apreciar, la prueba de Student demuestra que la serie no es homogénea y por lo tanto la hipótesis de que las medias son iguales resultó ser falsa.

#### Prueba de Fisher (F)

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba F, si los valores de las desviaciones estándar de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes, con un 95% de probabilidad o con un 5% de nivel de significación, de la siguiente forma:

Cálculo de las varianzas de ambos periodos:

$$S_1^2(x) = \left( \frac{1}{n_1 - 1} \right) \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2$$

$$S_2^2(x) = \left( \frac{1}{n_2 - 1} \right) \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2$$

Cálculo del F calculado ( $F_c$ ), según:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \quad \text{si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \quad \text{si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

Cálculo del F tabular (valor crítico F ó  $F_t$ ), se obtiene de las tablas de distribución de F para una probabilidad del 95%, es decir, con un nivel de significación  $\alpha=0.05$  y grados de libertad:

$$G.L.N = n_1 - 1, \quad \text{si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$G.L.D = n_2 - 1,$$

$$G.L.N = n_2 - 1, \quad \text{si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

$$G.L.D = n_1 - 1,$$

Donde:

G.L.N = grado de libertad del numerador

G.L.D = grado de libertad del denominador

Comparación del  $F_c$  con el  $F_t$ :

Si  $F_c \leq F_t(95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x)$  (estadísticamente), entonces la serie es homogénea.

A continuación, se presentan los resultados de la aplicación de la prueba de Student a los datos.

Tabla 2. Resultados de la prueba de Fisher

ESTACION	VARIABLE	FISHER		CUMPLE
		Fc	Ft	
San Gil	Valores máximos de caudales	1,08	1,84	No

Como se puede apreciar, la prueba de Fisher demuestra que la serie es homogénea y por lo tanto la hipótesis de que las medias son iguales resultó ser verdadera.

En Colombia se suele describir el comportamiento estadístico de los ríos mediante el estudio de los momentos estadísticos de Karl Pearson o mediante el histograma de frecuencias empíricas. Para ello en este trabajo se estiman los momentos y se construyen los histogramas para los tres periodos de tiempo antes mencionados.

## RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la elaboración de los histogramas de frecuencias empíricas de los caudales máximos del río Fonce en la estación hidrológica San Gil, la cual es operada por el instituto IDEAM desde 1955.

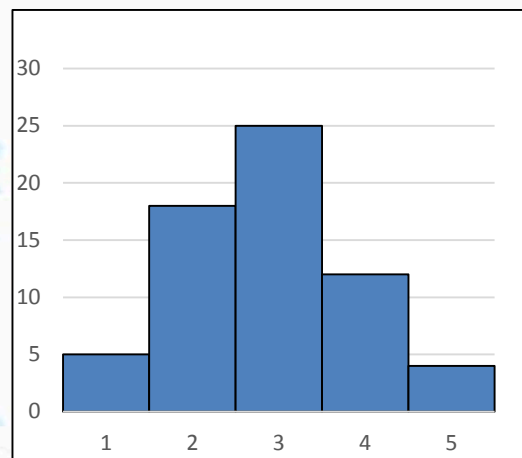


Figura 4.

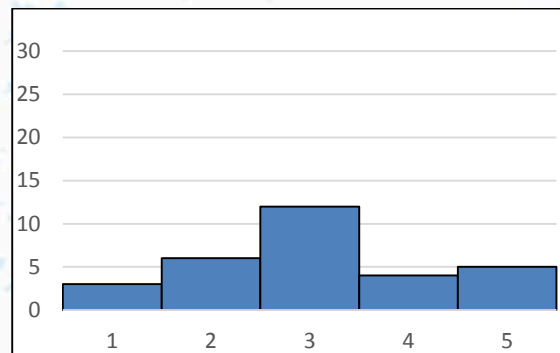


Figura 5.



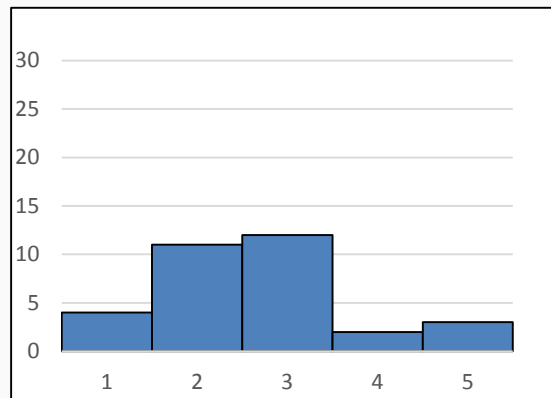


Figura 6.

Histogramas empíricos de las frecuencias empíricas en los periodos 1955-2016, 1955-1986 y 1986-2016. Luego de construir el histograma de frecuencias empíricas se procede a ajustar un modelo estadístico de acuerdo con el Sistema de Pearson; a continuación, se presentan los modelos ajustados.

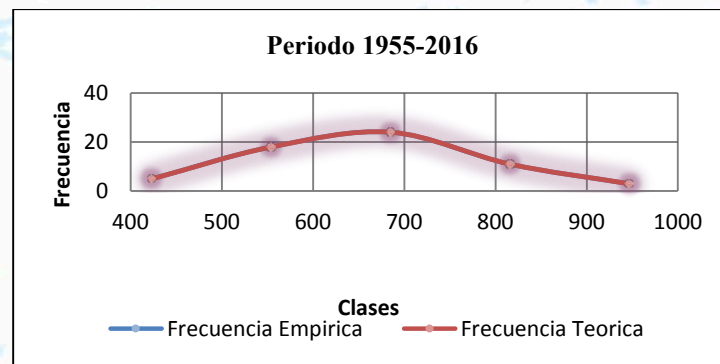


Figura 7.

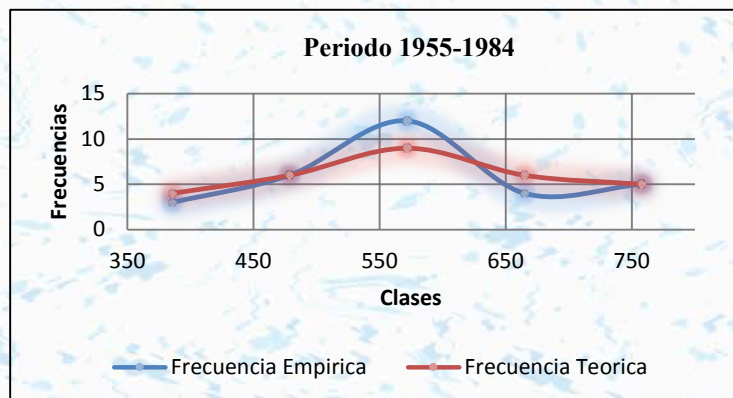


Figura 8.

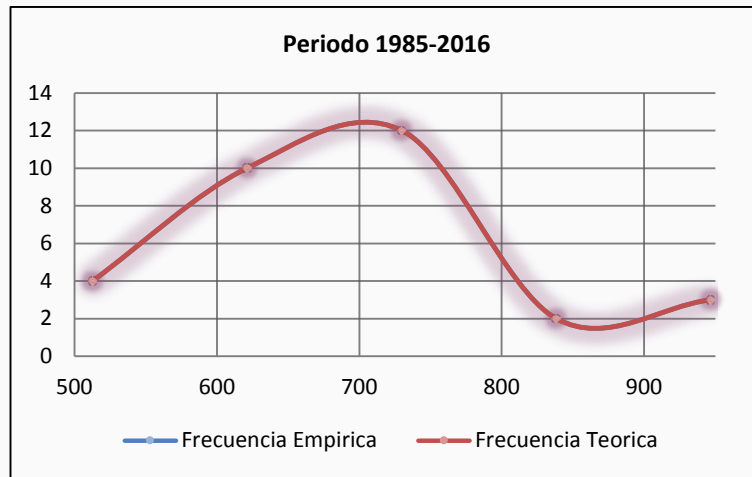


Figura 9.

De acuerdo a la relación lluvia – escorrentía y al comportamiento propio del área de estudio, se determinan dos periodos de los caudales de diseño del hidrograma unitario los cuales se presentan en las figura 10 y 11.

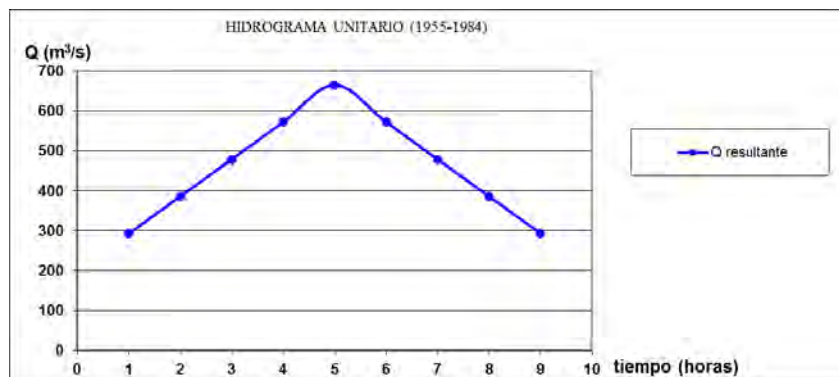


Figura 10

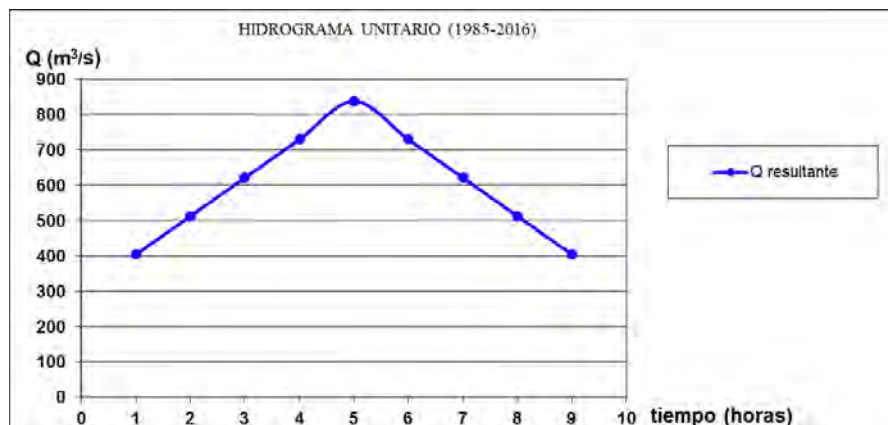


Figura 11



## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo permite ilustrar el comportamiento de no estacionariedad de los caudales máximos del río Fonce Gil, Santander, en el ámbito del cambio climático y determina una nueva forma de tratamiento de las variables hidrológicas frente al diseño de obras terrestres.

El sistema de Pearson es un sistema probabilístico que es poco usado en Colombia, y se desconocen aplicaciones en los diseños de obras terrestres. Este sistema se establece de una ecuación diferencial en primer orden que nos permite obtener frecuencias teóricas, las cuales deben tenerse en cuenta en el momento de la realización de cualquier diseño hidrológico.

La aplicación del Sistema Pearson permite la modelación e interpretación del comportamiento de la dinámica de los caudales de diseño por lo tanto presenta múltiples ventajas frente al modelo tradicional de diseño de obras terrestres.

El estudio del comportamiento histórico de las variables hidrológicas con el Sistema de Pearson es importante en el área de la Ingeniería, logrando dejar una apertura muy importante para obtener unos resultados más completos utilizando también otros métodos estadísticos como lo es de Kolmogorov, entre otros.

La no estacionariedad abre un gran interrogante respecto a la validez de seguir aplicando modelos estadísticos tradicionales o aplicar herramientas que ofrece diversas oportunidades para los diseños de obras terrestres, para el caso de investigaciones para el bien de la sociedad y estimar en un futuro las irregularidades que se puedan presentar en nuestro clima, lo cual se ve claramente reflejado en los hidrogramas e histogramas que permiten determinar las diferencias de los periodos de (1955-1984) y (1985-2014).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a las directivas de la Escuela de Ingenieros Militares ESING, a los institutos INVIAS, IDEAM y la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS.

Al Comando de Educación y Doctrina CEDOC de la Dirección de Ciencia Tecnología DITEC del Ejército Nacional de Colombia.

## LITERATURA CITADA

Aguirre, M. R. (2004). En la madrugada de San Pedro y San Pablo, la presencia de las neblinas es señal para la crianza de las chacras. Sabidurías campesinas andino – amazónicas, (2243).

Aparicio, L. (2009) Fundamentos de Hidrología de Superficie. México: Limusa.

Bacca J., Palacio Gómez D., Hoyos Ortiz L., Rivera H. (2015). Oportunidades entre la tecnología militar y la ingeniería civil. Caso de estudio: Aplicación del Sistema Estadístico de Pearson en la modelación de los caudales medios mensuales del río Fonce –Santander. Revista de Investigación ESING, 10, pp.73-83.

Barbosa, R., Llinas, H. (2015) Procesos estocásticos con aplicaciones. Barranquilla: Universidad del Norte.

Benjamin, J. (1970). Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers. San Francisco.

Bergström, S. (1995). The HBV model, computer models of watershed hydrology. Norrköping: SMHI.

Centro de Investigación y Promoción de la Sociedad Moche – CISPM. (s.f.). Cómo saber si habrá o no habrá agua en verano para sembrar. Sabidurías campesinas andino – amazónicas, (0215).

Chaa, S.C., Pelletier, G.J. and Tao, H. (2012). QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality. Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept. Medford: Tufts University.

Chow, V. T., D. R. Maidment, L. W. Mays. (1964). Handbook of applied Hydrology. San Francisco: McGraw-Hill.

Domínguez Calle E. (2004) Стохастический прогноз притока воды к водохранилищам ГЭС Республики Колумбия. Rusia: Universidad Hidrometeorológica de Rusia.

Dooge, J. C. I. (1973). LINEAR THEORY OF HYDROLOGIC SYSTEMS -Technical Bulletin (1468).

Einstein, A. (1905). Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. Annalen der Physik, 322 (8).

Fokker, A. (1914). Die mittlere Energie rotierender elektrischer Dipole im Strahlungsfeld. Annalen der Physik, (7).

García Álvarez M. A. (2005). Introducción a la teoría de probabilidad. México: Fondo de Cultura Económica.

González, Y. (2004). Sistema de Información Geográfica para Incendios – SIGPI. Manual del usuario (segunda versión). IDEAM, Bogotá.

González-Murillo, C. A. (1989). Simulación Hidrológica. Ingeniería E Investigación, 19, 63 –70.

Gómez, D. C. P. MODELACIÓN RELACIÓN LLUVIA ESCORRENTÍA EN PROCESOS NO ESTACIONARIOS CON FOKKER-PLANCK-KOLMOGOROV.

Koselleck, R (2003). Aceleración Prognosis y Secularización. Barcelona: PRE-TEXTOS

Montealegre, J. (1990). Técnicas estadísticas aplicadas en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos. Bogotá: Instituto colombiano de hidrología, meteorología y adecuación de tierras - HIMAT.

Organización Meteorológica Mundial. (2013). Informe final del Proyecto Piloto sobre Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para Amenazas Hidrometeorológicas en Costa Rica. Recuperado de: [www.wmo.int](http://www.wmo.int)

Pearson, K. (1895) Contributions to the Mathematical Theory of Evolution. II. Skew Variation in Homogeneous Material. London: Philosophical Transaction of the Royal Society A.

Poveda, G., & Álvarez, D. M. (2012). El colapso de la hipótesis de estacionariedad por cambio y variabilidad climática: implicaciones para el diseño hidrológico en ingeniería. Revista de Ingeniería, (36), 65-76.

Proyecto regional de población, Centro Latinoamericano Y Caribeño de Demografía – CELADE, División de Población de la CEPAL, Fondo de Población de las Naciones Unidas – UNFPA. (2003). Población y desarrollo. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

Rich, N. R., Greene, L., Graham, R. C. (1971) The Pearson's System of frequency curves digital computer program. US Army Missile Command Reston Arsenal, (7114).

Rivera, H. G., Palacio Gómez, D. C., Rangel Guerrero, F. M. (2013). Impacto de los escenarios de cambio climático en los recursos naturales renovables en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander. Bogotá: Otero Impresos y Universidad Nacional de Colombia.



# **ID-327: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO Y SU PERCEPCIÓN DE LOS ACTORES CLAVE**

Fabiola S. Sosa-Rodríguez  
Jefa del Área de Crecimiento y Medio Ambiente. Departamento de Economía.  
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Azcapotzalco.  
fssosa@gmail.com

## **RESUMEN**

El cambio climático es uno de los retos más grande que enfrenta la humanidad, cuyos impactos serán no sólo catastróficos sino irreversibles si la humanidad no logra limitar el calentamiento del planeta a menos de 2°C con respecto a la temperatura existente en la época preindustrial; aunque lo deseable es evitar un incremento en la temperatura promedio global que supere los 1.5°C para reducir los impactos del cambio climático en todos los sectores. Con este fin, la ambición de los países tanto en materia de mitigación como de adaptación debe incrementarse, siempre teniendo en cuenta los requerimientos a nivel local con el fin de que las estrategias en materia de mitigación y adaptación sean eficaces. En este sentido, esta investigación analiza los escenarios de cambio climático para México y para la Cuenca del Valle de México, evaluando sus impactos en la disponibilidad del agua en esta región.

**Palabras clave:** impactos del cambio climático; México, Cuenca del Valle de México; disponibilidad del agua, escenarios de cambio climático.

## **1 INTRODUCCIÓN**

El cambio climático (CC) es uno de los principales desafíos que enfrenta la humanidad. Este fenómeno está relacionado con el calentamiento del planeta por la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero (GEI) (i.e., dióxido y óxido de carbono ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{NO}$ ), y carbono negro), la quema de combustibles fósiles para la realización de las actividades humanas, los cambios en el uso de suelo y la deforestación. Esta elevada concentración de GEI ha modificado el clima, y con ello, los principales parámetros climáticos (i.e., temperatura, precipitación, viento, humedad). Si continua la economía mundial basando su crecimiento económico en la quema de combustibles fósiles se espera que dicha concentración de GEI siga incrementándose, y con ello, se proyecta que la temperatura media del planeta podría aumentar entre 3.2 y 5.4°C con respecto a los niveles preindustriales. Por lo pronto, los esfuerzos de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de los países (NDC, por sus siglas en inglés), no han logrado limitar el calentamiento del planeta, situación que pone en riesgo la supervivencia de la humanidad y los ecosistemas, proyectándose un incremento en la temperatura media global de hasta 3.7°C.

Lamentablemente, aunque el crecimiento económico a nivel mundial se logre desacoplar de la quema de combustibles fósiles, existe un efecto tendencial en la concentración de GEI en la atmósfera que estima que la temperatura media del mundo podría incrementarse entre 0.9 y 2.3°C (UNFCCC, 2016). Por consiguiente, a pesar de lograr que los GEI en la atmósfera se estabilicen, la humanidad enfrentará impactos del CC que será inevitables, por lo que es indispensable que los esfuerzos en materia de mitigación se complementen con estrategias concretas para fortalecer las capacidades de adaptación. Hasta el momento, las NDC de los países del mundo no representan los escenarios más eficientes en términos de costos para enfrentar el CC, ya que se espera que para el año 2030 los países destinen una parte importante de su Producto Interno Bruto (PIB) para financiar sus estrategias de



mitigación y adaptación, lo cual puede evitarse de realizar las inversiones necesarias en el presente para fortalecer las capacidades para enfrentar este fenómeno. Bajo este contexto, esta investigación analiza los impactos del CC en la disponibilidad del agua en la Cuenca del Valle de México (CVM), la cual ha sido identificada como una de las más afectadas en el país debido a la elevada concentración demográfica y económica, así como por la pérdida de los servicios ecosistémicos resultado de los cambios de uso de suelo y de la deforestación.

## **2 LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO Y LA NECESIDAD DE UNA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA**

México ha sido identificado como uno de los países que se verá más afectado por los impactos del CC. Se proyecta que para el año 2100, la temperatura podría incrementarse en promedio entre 0.5 y 4.8°C, aunque sus efectos se distribuirán de manera desigual en el territorio (Salinas Prieto et al., 2015). Durante el invierno, algunas zonas podrían enfrentar aumentos entre 3 y 3.5°C, e incluso estos incrementos podrían ser de hasta 4.5°C en particular en el norte del país. En el verano, se espera que las temperaturas aumenten entre 3.5 y 4.0°C, aunque diversas regiones en el centro y norte podrían enfrentar incrementos del orden de 4.5 y 5.0°C. En el caso de la precipitación, se espera que en el invierno ésta se reduzca en aproximadamente un 15%, y en el verano en 5%. Pero al igual que en el caso de la temperatura, algunas zonas del país podrían enfrentar una reducción en la precipitación de entre 20 y 25%, en particular en la región centro y norte del país. En el verano, el poniente de México podría verse afectado por una reducción de la precipitación de entre 35 y 50%; en ambos casos dichas reducciones tendrán importantes repercusiones para atender los requerimientos de agua de los diferentes sectores; situación que favorecerá la emergencia de conflictos para garantizar el acceso este vital recurso o la intensificación de los conflictos existentes. Con base en los escenarios de CC analizados, se espera en México que el incremento en la temperatura y la reducción en la precipitación afecte particularmente al norte y centro del país, y que la intensidad con la que se presentan estas variaciones se intensifiquen en el largo plazo (Sosa-Rodríguez, 2019).

Bajo este contexto, las intervenciones requeridas para desarrollar y fortalecer las capacidades de adaptación que permitan enfrentar los impactos del CC de manera exitosa requieren realizarse a nivel local, teniendo en cuenta las condiciones específicas de las zonas a intervenir. En este sentido, no sólo las variaciones en la temperatura y precipitación tendrán impactos diferenciados a nivel local en las diferentes épocas del año, lo cual requiere ser tomado en cuenta para la planeación y gestión de los recursos hídricos (Sosa-Rodríguez, 2014).

Las variaciones proyectadas por los diferentes escenarios de CC ajustados para México por medio de un proceso de downscaling tanto para la temperatura media como para la precipitación total se espera que tengan severas repercusiones en la producción agrícola y ganadera, en la conservación de los ecosistemas, en las actividades industriales, en el suministro de agua para el consumo humano, y en la salud, entre otros sectores. Por ejemplo, con un incremento de 2°C se espera un descenso en la producción de alimentos entre un 5 y 10% de la producción actual, y con un incremento de 3°C este descenso podría superar un 20% de la producción agrícola actual, además de afectar severamente la producción acuícola y ganadera. En este sentido, limitar la temperatura a 1.5°C reduciría las pérdidas económicas, humanas y en materia de biodiversidad, que el CC podría traer consigo para México. Otros impactos esperados por el CC en México incluyen un aumento en el nivel del mar, sequías e inundaciones, que a su vez afectarán la infraestructura disponible (i.e., generación de energía, extracción de hidrocarburos y para el transporte), además de favorecer la emergencia de problemas en la salud y suministro de agua. También se proyecta, que el CC afectará la conservación de los ecosistemas, reducirá la disponibilidad de agua y su calidad, además de amenazar la estabilidad económica. Actualmente, la infraestructura existente y la disponibilidad de agua no pueden satisfacer las demandas de este recurso por parte de los diferentes usuarios, requiriéndose que enormes volúmenes sean transferidos desde cuencas hidrográficas cada vez más distantes (Sosa-Rodríguez, 2015, 2019). Esta difícil situación se hará más compleja si se toman en cuenta las malas prácticas de gestión en los recursos hídricos, resultado de un pobre tratamiento de las aguas residuales generadas, de la contaminación de los cuerpos de agua superficial y subterráneas en el país, de la sobreexplotación de estos cuerpos de agua, y del uso



poco eficiente de este recurso. Destaca el caso de la Cuenca del Valle de México (CVM) por sus elevados niveles de vulnerabilidad ante la dependencia a fuentes externas, los niveles de contaminación de sus recursos hídricos, y los altos requerimientos de este recurso para la realización de las actividades económicas y la atención de las necesidades de la población para su consumo doméstico.

### 3 LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CVM

La CVM originalmente era una cuenca cerrada con un sistema interconectado de lagos, regulados por un gran acuífero. Por lo que, durante las épocas de lluvias, el agua escurría de las serranías hacia los lagos, concentrándose en el Lago de Texcoco, que tenía la menor altitud sobre el nivel del mar; esto hizo que las aguas de este lago fueran salobres, ya que concentraban los sedimentos provenientes de la cuenca. Este equilibrio hídrico fue roto debido a las distintas decisiones de gestión, las cuales favorecieron la pérdida de diversos servicios ecosistémicos, así como la concentración demográfica y económica, y la mayor dependencia a fuentes de agua cada vez más distantes (Sosa-Rodríguez, 2010). En consecuencia, el equilibrio hídrico de la CVM actualmente se encuentra severamente modificado, por lo que el CC incrementará la situación de vulnerabilidad existente, al reducir la disponibilidad del agua tanto de las fuentes internas como externas a esta cuenca, aumentando los riesgos asociados a la sobreexplotación de los acuíferos de la región y a la escasez del agua.

Con el fin de analizar los potenciales impactos que el CC pudiera tener en la disponibilidad del agua en la CVM, se analizaron 24 modelos climáticos regionales (MCR) para tres horizontes de tiempo: corto plazo (2015 a 2039), mediano plazo (2045 a 2069) y largo plazo (2075 a 2099). Estos modelos fueron seleccionados por su capacidad para reproducir el clima en el pasado, presentando una menor incertidumbre para reproducir el clima en el futuro (Sosa-Rodríguez, 2019). Los MCR seleccionados fueron elaborados por cuatro centros de investigación que se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Modelos Climáticos Regionales**

GCM	Centro de Modelación
CNRMCM5	Centro Nacional de Investigación Meteorológica, Francia
GFDK_CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Estados Unidos
HADGEM2_ES	Centro Hadley para la Predicción e Investigación del Clima, Reino Unido
MPI_ESM_LR	Instituto de Meteorología Max Planck, Alemania

Fuente: Elaborado con base en IPCC (2015).

Los nuevos MCR, aprobados en el 5to Reporte del IPCC, basan sus proyecciones en 4 posibles trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Estos escenarios toman en cuenta para las variaciones estimadas de precipitación y temperatura, las emisiones de GEI antropogénicas, representadas por medio del forzamiento radiativo (o RCP) para el año 2100, con respecto al año 1750. En este sentido, el RCP2.6 significa que el forzamiento radiativo (FR) será de  $2.6 \text{ W/m}^2$  por lo que la concentración de  $\text{CO}_2$  al 2100 alcanzará los 421 ppm. Para el RCP4.5, el forzamiento radiativo es de  $4.5 \text{ W/m}^2$ , por lo que las concentraciones de  $\text{CO}_2$  al 2100 se estiman en 538 ppm. Para el RCP6.0, se proyecta un FR de  $6.0 \text{ W/m}^2$  con una concentración de  $\text{CO}_2$  al 2100 de 670 ppm. Finalmente, para el RCP8.5, se estima un FR de  $8.5 \text{ W/m}^2$  con una concentración de  $\text{CO}_2$  al 2100 de 936 ppm. El RCP2.6 representa un escenario de mitigación; el RCP4.5 y RCP6.0 son escenarios de estabilización, y el RCP8.5 corresponde a un escenario con una elevada generación de GEI (IPCC, 2015) (Sosa-Rodríguez, 2019) (Tabla 3). En este sentido, cada RCP implica diferentes combinaciones de futuros económicos,

demográficos, tecnológicos y de políticas de cambio climático, combinados con modelos climáticos, de química de la atmósfera y del ciclo del carbono. En esta investigación los modelos climáticos seleccionados consideraron para la estimación de los escenarios dos tipos de forzamientos radiativos: el RCP4.5 y el RCP8.5 (Sosa-Rodríguez, 2019). La Tabla 3 detalla las trayectorias de concentración representativas analizadas en los nuevos MCR.

**Tabla 3. Trayectorias de concentración representativas**

RCP	Forzamiento radiativo (W/m <sup>2</sup> )	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)	Concentración de CO <sub>2</sub> eq* (ppm)	Tendencia al 2100
RCP2.6	2.6	421	475	Decreciente
RCP4.5	4.5	538	630	Estable
RCP6.0	6.0	670	800	Creciente (moderado)
RCP8.5	8.5	936	1313	Creciente (acelerado)

\* Incluye las concentraciones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

Fuente: Elaborado con base en IPCC (2015).

#### 4 LOS ESCENARIOS DE DISPONIBILIDAD DEL AGUA PARA LA CVM

Con base en los resultados de los modelos analizados con respecto a las variaciones proyectadas en materia de temperatura y precipitación, se estimaron escenarios de disponibilidad del agua para la CVM. En el caso de los escenarios de corto plazo (2015-2039), éstos estiman que la temperatura en la CVM podría incrementarse en promedio en 1.34°C anualmente, aunque podría alcanzar cifras de hasta 2.4°C en el verano, lo cual evidentemente tendría severas repercusiones en la disponibilidad y calidad del agua. En el caso de la precipitación, está podría reducirse en promedio anualmente en -2.25%, aunque se podrían presentar reducciones en hasta un 16.45% en el verano. Resultado de lo anterior, se prevé una reducción en el volumen de agua disponible de -10.67%, el cual podría alcanzar hasta -33.76% para el corto plazo (2015-2039) (Sosa-Rodríguez, 2019).

Para el mediano plazo (2039-2045), las proyecciones de la temperatura reportan un posible incremento en la temperatura promedio de la cuenca del orden de los 2.67°C, el cual podría alcanzar los 4.40°C en el verano. Para la precipitación, se espera que para este periodo en promedio se reduzca anualmente en -4.31%, y en verano alcance una disminución de hasta -21.12%. Dadas estas variaciones, se proyecta que en el mediano plazo (2045-2069), la disminución en la disponibilidad del agua en la CVM en promedio podría ser de -18.73%, aunque se esperaría que pudiera alcanzar un valor de -34.24% (Sosa-Rodríguez, 2019).

Finalmente, para el largo plazo (2075-2099), se estima que la temperatura promedio anual de la cuenca aumente en 3.73°C, aunque en el verano este incremento podría alcanzar los 6.61°C. Para la precipitación también se prevé que los impactos se intensifiquen, proyectándose en promedio una reducción de -4.98%, pero en el verano de hasta -25.70%. Lo anterior, puede provocar una reducción promedio en la disponibilidad del agua de -23.93%, pero podría alcanzar los -42.72% (Figura 1, 2 y 3).

Bajo este contexto, los escenarios proyectados revelan que el CC podría incidir de manera más severa en el verano, en donde se superan los límites definidos por el IPCC, tanto en la temperatura como en la precipitación, poniendo en evidencia los niveles de riesgo que enfrenta la humanidad resultado de impactos no sólo severos sino irreversibles en la biodiversidad, la disponibilidad y calidad del agua, en la salud, en la seguridad alimentaria, y en las diversas actividades económicas.

Los escenarios de disponibilidad del agua se construyeron teniendo en cuenta los cambios proyectados en materia de temperatura media y precipitación total en la CVM, la cual está conformada por cuatro entidades político-administrativas: Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo y Tlaxcala. Estos escenarios de variación de la disponibilidad del agua se estimaron para tres horizontes de tiempo (2015-2039; 2045-2069; 2075-2099). Con este

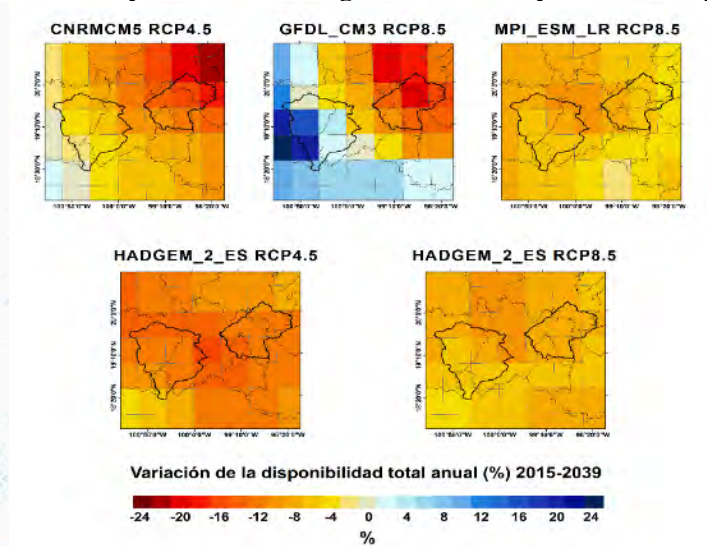


fin, fue necesario estimar el balance hídrico en cada horizonte de tiempo. El balance hídrico proporciona una estimación del agua disponible en una cuenca de estudio, y se calcula como la diferencia del agua que entra a la cuenca principalmente a través de la lluvia, menos las salidas que se explican por la transpiración de las plantas, así como la evaporación directa de los cuerpos de agua y el suelo (Bunge, 2010; DOF, 2015).

Los flujos de entrada de agua en el ciclo hidrológico comprenden las aportaciones provenientes de la precipitación, los escurrimientos de cuencas ubicadas aguas arriba y la infiltración de cuencas vecinas. Por otro lado, las salidas corresponden a todas aquellas etapas del ciclo hidrológico que implican pérdidas del agua como la evapotranspiración, la infiltración, y también se pueden considerar los cambios en el almacenamiento. Cabe mencionar, que en esta investigación para la estimación del balance del agua utilizó lo estipulado en la NOM011-CONAGUA-2015, en particular para lo que refiere a la recarga de los acuíferos y los escurrimientos. En el caso de la evaporación se analizaron varios métodos (i.e., Priestley-Taylor, Blaney-Criddle-FAO, Turc, Thornthwaite y Coutange), siendo los resultados del método propuesto por Coutange los que menos incertidumbre presentaron (Sosa-Rodríguez, 2019).

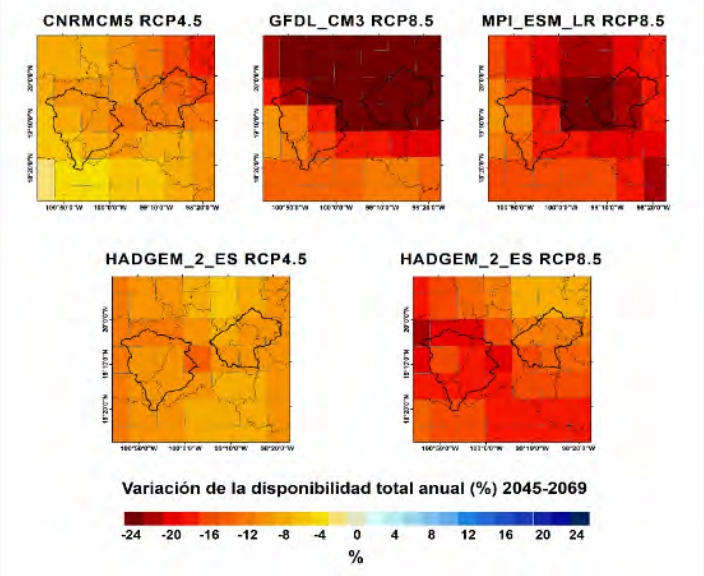
Las Figuras 1, 2 y 3 comprenden los escenarios de la disponibilidad del agua en la CVM para el corto, mediano y largo plazo.

**Figura 1. Escenario de disponibilidad del agua en la CVM para el corto plazo (2015-2039)**



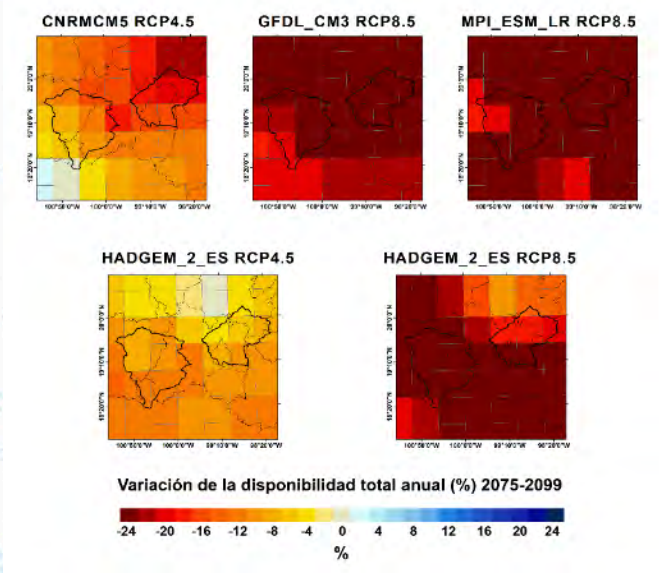
Fuente: Sosa-Rodríguez, 2019.

Figura 2. Escenario de disponibilidad del agua en la CVM para el mediano plazo (2045-2069)



Fuente: Sosa-Rodríguez, 2019.

Figura 5. Escenario de disponibilidad del agua en la CVM para el largo plazo (2075-2099)



Fuente: Sosa-Rodríguez, 2019.

5 CONCLUSIONES



El análisis de los escenarios de disponibilidad reveló que existen altas probabilidades de que la CVM se vea severamente afectada por los impactos del CC en la temperatura y precipitación, y como consecuencia, también en materia de disponibilidad del agua. Lo interior, traerá como resultado afectaciones en diversos sectores como la agricultura, la ganadería, la acuicultura, el sector forestal, el sector industrial y servicios, así como el bienestar humano, entre otros; situación que podría potenciar la generación o intensificación de conflictos entre los sectores. Estos impactos pueden poner en riesgo la estabilidad económica de los sectores y el propio desarrollo económico de la región. Resultado de ello, es urgente promover la colaboración entre los distintos sectores para desarrollar las capacidades que les permitan enfrentar de la manera más efectiva los retos del CC.

Limitar el calentamiento de la temperatura a 1.5°C reducirá de manera considerable la vulnerabilidad de la región ante el CC, de ahí que sea tan relevante que los esfuerzos de los países del mundo se comprometan a realizar las estrategias de mitigación que se requieren para alcanzar este objetivo. Promover sinergias entre la mitigación y adaptación es crucial para limitar el calentamiento del planeta a 1.5°C con respecto a los niveles de temperatura en el periodo preindustrial. Sin embargo, esto requerirá de importantes esfuerzos en materia de mitigación que obliga a los países del mundo a incrementar sus niveles de ambición con respecto tanto a sus metas condicionadas como a las no condicionadas.

Dichos esfuerzos no pueden reducirse a aspectos técnicos exclusivamente, dado que la implementación de tecnologías en los diferentes sectores y los nuevos enfoques de planeación del territorio y del propio ordenamiento territorial dependen de nuevos esquemas de gobernanza y del desarrollo de las capacidades institucionales que creen las condiciones para reducir tanto la vulnerabilidad. Con este fin, se requiere promover la innovación y la transferencia de tecnología, garantizar el financiamiento para impulsar tanto las metas condicionadas como las no condicionadas, además de modificar los patrones de consumo y los estilos de vida hacia enfoques más sustentables.

Debido a que los impactos del CC se sentirán a nivel local, es en este nivel en donde se tienen que potenciar las capacidades de adaptación y mitigación. Por ello, la política del CC a nivel nacional, estatal y local, debe estar alineada con la política orientada a favorecer el desarrollo, dado que son complementarias y favorecen la conformación de ciudades y comunidades resilientes.

Bajo este contexto, es urgente reflexionar sobre las nuevas formas en que la gestión del agua se tendría que estar llevando a cabo, en donde el CC debe ser una prioridad a considerar en la planeación y el manejo de este recurso estratégico. Asimismo, es indispensable fortalecer a los Consejos de Cuenca incluyendo la colaboración de las autoridades gubernamentales a nivel federal, estatal y local responsables de la gestión del agua y aquellas que están vinculadas a este recurso, con el fin de promover la adaptación al CC.

## 6 AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el apoyo brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para financiar la investigación realizada como parte del proyecto 221460, de la Convocatoria de Ciencia Básica (CB2013), por medio del cual se avanzó en el conocimiento y comprensión de los impactos del cambio climático en la disponibilidad del agua en la Cuenca del Valle de México.

## 7 REFERENCIAS

- Bunge, V. 2010. La Disponibilidad Natural de Agua en las Cuencas de México. *Las Cuencas Hidrográficas de México: La Disponibilidad Natural del Agua*. México: CONAGUA.
- DOF. 2015. *NOM-011-CONAGUA-2015*. México, CDMX: Gobierno Federal.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC.

- IPCC. 2018. *Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Geneva, Switzerland: WMO, IPCC.
- Salinas Prieto, J.A., Colorado Ruíz, G., y Maya Magaña, M.E. 2015. Capítulo 2. Escenarios de cambio climático para México. En: Arreguín Cortés, F.I., López Pérez, M., Rodríguez López, O., Montero Martínez, M.J. (Coord.). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático* (pp. 41-71). México: IMTA.
- Sosa-Rodríguez, F.S. 2019. Limitando el calentamiento global a 1.5°C y sus beneficios en la disponibilidad del agua: la necesidad de una reflexión a nivel local. En: Rueda Abad, JC (Editor). *¿Aún estamos a tiempo para el 1.5°C? Voces y Visiones sobre el Reporte Especial del IPCC*. México: UNAM, PINCC.
- Sosa-Rodríguez, F.S. 2015. La política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Revista Internacional de Estadística y Geografía: Realidad, Datos y Espacio*. INEGI, 6 (2), 4-23.
- Sosa-Rodríguez, F.S. (2014). From Federal to City Mitigation and Adaptation: Climate Change Policy in Mexico City. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change Journal*, 19 (2013), 969-996. doi: 10.1007/s11027-013-9455-1
- Sosa-Rodríguez, F.S. 2010. Impacts of Water Management Decisions on the Survival of a City: From Ancient Tenochtitlan to Modern Mexico City. *Journal of Water Resources Development*. 27 (4), pp., 667-689.
- UNFCCC. 2016. *Climate Action Now. Summary for Policy Makers*. Geneva: UNFCCC.



## **ID-393: EROSIÓN E INFILTRACIÓN COMO CONSECUENCIA DE INCENDIOS FORESTALES DE BAJA Y ALTA SEVERIDAD EN EL OCCIDENTE DE MÉXICO**

<sup>a</sup>Castillo-Navarro F., <sup>a</sup>D. Meza-Rodríguez\*, <sup>a</sup>S. Quintero-Gradilla\* y <sup>b</sup>B. Chávez-Vergara.

<sup>a</sup>Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Autlán de Navarro, Jalisco. [faviola.castillo@cucsur.udg.mx](mailto:faviola.castillo@cucsur.udg.mx)

<sup>b</sup>Departamento de Edafología, Instituto de Geología, UNAM

### **RESUMEN**

Los incendios forestales generan impactos negativos y positivos en los bosques donde ocurren. Por un lado la remoción de la vegetación y el consumo de la materia orgánica en el suelo por combustión, acelera procesos erosivos y modifica temporalmente la dinámica hidrológica. Sin embargo, este escenario es modificado tan pronto como el suelo se cubre de regeneración y continúa el proceso sucesional. La tasa de erosión depende de factores que interactúan acelerando o frenando la pérdida de suelo como las características edáficas, topografía, vegetación y clima. En este trabajo se evaluó la tasa de erosión y escurrimiento después de incendios forestales de baja y alta severidad en bosques de pino-encino del occidente de México. Se realizó un experimento de simulación de lluvia en dos condiciones de bosque de pino-encino recientemente quemado: alta y baja severidad. Se simuló precipitación a una presión constante de 20 PSI, mediante un simulador de lluvia de fabricación propia sobre una parcela de escurrimiento de 1.5 × 2 m. Los sedimentos escurridos fueron captados cuesta abajo en un recipiente durante el periodo de simulación (30 minutos). Las muestras fueron llevadas al laboratorio donde se procesaron para separar la ceniza y partículas de suelo del agua. Con estos datos se calculó la cantidad de precipitación simulada y se proyectó el peso de los sedimentos a ton/ha. Se encontró que los incendios de alta severidad donde el dosel es removido más del 75% a consecuencia del evento de fuego, incrementan las tasas de erosión y disminuyen la infiltración en zonas montañosas (pendiente 20%). La erosión es un efecto nocivo del fuego pero disminuye con la tasa de recuperación de la vegetación en el dosel, por lo que mientras más rápido se regenere el bosque menor será el impacto negativo.

**Palabras clave:** escorrentía, combustión completa, tamaño de claros.

### **1. INTRODUCCIÓN**

La capacidad de los ecosistemas forestales para influenciar el ciclo hidrológico es ampliamente conocida: mientras mas compleja la estructura, mayor es la intercepción de agua de lluvia; mientras más complejo el mantillo, mayor retención de agua en el suelo; la presencia de distintos tipos de plantas favorece las propiedades del suelo que permiten la infiltración y el escurrimiento; y la arquitectura vertical disminuye el impacto de las gotas de lluvia en suelo, limitando la intensidad de la erosión.

Los incendios forestales influyen en los procesos de infiltración y erosión los cuales son fundamentales para el mantenimiento de un régimen hidrológico. Durante la infiltración, el agua precipitada es captada en los poros del suelo hasta que se saturan y se almacena entre el acuífero y la superficie, contribuyendo a la cantidad total de agua disponible para las plantas. El fuego consume la vegetación dejando en su lugar ceniza la cual contribuye a llenar los poros del suelo impidiendo el ingreso de agua y a su vez, reduciendo la infiltración. Este proceso depende de varios factores previos al incendio como el tipo de suelo y su uso y manejo, actividad biológica, fisiografía del terreno y la vegetación.

Durante la erosión ocurren procesos de desprendimiento, transporte y disposición de partículas de suelo que son controladas por la energía erosiva y las propiedades del suelo. Estos factores son directa e indirectamente afectados por el fuego y la tasa erosiva va a depender de factores como tamaño del incendio y espacio que ocupa en la cuenca, topografía, características de la precipitación, y severidad del fuego. El fuego influye directamente en la proporción del suelo mineral expuesto, la calidad del remanente de suelo, grado de calentamiento, presencia de repelencia al agua, fisiografía – drenaje y pendiente –, intensidad de las primeras tormentas y la erosión derivada de la gravedad.

En los bosques de pino encino del occidente de México, los incendios forestales son recurrentes y superficiales, alcanzando en ocasiones el dosel, pero principalmente consumen los combustibles del suelo y sotobosque. La



severidad generalmente se limita a la remoción del estrato herbáceo y arbustivo, junto con la capa de hojarasca y material leñoso caído, y ocasionalmente manchones de alta severidad dentro del polígono del incendio. Se han reportado consumos de biomasa entre 5 a 20 Mg ha<sup>-1</sup>, correspondientes a un 15 a 40% del combustible disponible, principalmente hojarasca, herbáceas y ramas en el suelo.

Se argumenta con frecuencia sin evidencia sólida, que los incendios invariablemente tienen efectos negativos en todos los componentes del bosque, adjudicándole entre otros efectos el incremento en las tasas erosivas y la disminución en la infiltración. Sin embargo, este no siempre es el caso, pues la intensidad y duración del impacto negativo dependerá de varios factores propios del suelo y la geoforma, de la vegetación y de las características de los incendios, entre otros. Para el caso de los incendios ocurridos en bosque de pino-encino, ¿el efecto del fuego es similar inmediatamente después de la perturbación? ¿qué factores relativos a la fisiografía y la severidad tienen impactos negativos en estos bosques?

En este trabajo se evaluó el efecto del fuego en la infiltración de agua de lluvia simulada, en el movimiento de sedimento y ceniza, y en características del suelo como la porosidad y densidad aparente. La evaluación se realizó bajo dos condiciones de severidad de fuego en bosques de pino-encino en la región occidental de México, específicamente en la Sierra de Talpa y Tapalpa, Jalisco.

## 2. MÉTODOS

El estudio se realizó en bosques de pino-encino de la Sierra de Tapalpa y Sierra de Talpa, en Jalisco. En ambos ocurrió un incendio durante la temporada de 2019 cuya severidad fue baja en promedio, ocurriendo manchones de alta severidad, sobre todo en áreas donde hubo aprovechamiento ilegal de madera previo al incendio. En total, cada incendio cubrió EQUIS y YE ha respectivamente (ver figura 1).

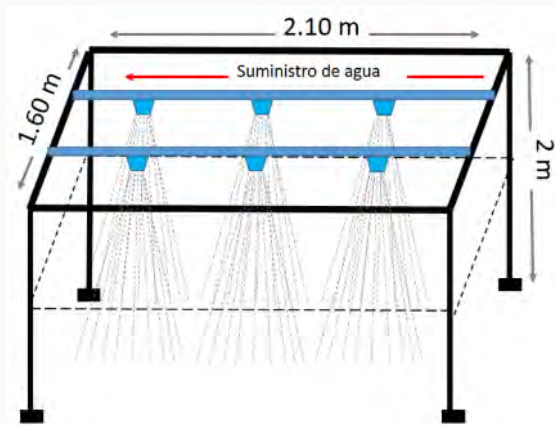
En el incendio de Talpa, se seleccionó un claro abierto por fuego de aproximadamente una hectárea, dentro del cual se colocó el simulador de lluvia y se llevó a cabo el experimento. Para el caso del incendio de Tapalpa, se seleccionó un área similar en fisiografía y vegetación previa al incendio, pero en este caso el incendio fue de baja severidad pues no abrió un claro en el dosel. Las condiciones en ambos sitios también fueron similares en las condiciones de combustión: el área cubierta por el simulador de lluvia presentó 100% de cobertura de ceniza.

**Tabla 1.** Características físicas de los sitios muestreados

Características del sitio	Talpa	Tapalpa
<b>Coordenadas UTM</b>	523842 – 2236819	624747 – 2193803
<b>Paraje</b>	El Mirador – La Cuesta	El Amol – La Yerbabuena
<b>Pendiente</b>	22%	23%
<b>Tipo de vegetación</b>	Rodal coetáneo de <i>Pinus oocarpa</i> (15 años)	Bosque de pino – encino con arbolado joven
<b>Altura del dosel</b>	13 m	25 m
<b>DN promedio</b>	20 +/- 10 cm	28-30 cm y 15-18 cm
<b>Cobertura del dosel</b>	5%	50%
<b>Porcentaje de mantillo carbonizado</b>	90%	30%
<b>Profundidad de mantillo</b>	2 cm (ceniza)	4 cm (ceniza y hojarasca)

Para este trabajo se utilizó el simulador de lluvia tipo MEYER de Líneas recíprocas de boquillas (Figura 2). Para calibrar el modelo y repetir las condiciones más cercanas a lluvia natural, se planificó una lluvia mayor a 40 mm h<sup>-1</sup> con el fin de asegurar que la baja altura de la gota (2 m) garantizara el movimiento de las partículas del suelo (Fornis *et al.*, 2005; Iserlo *et al.*, 2012). Se calibró el manómetro instalado en el simulador a un promedio de 20 PSI para incrementar la intensidad de la lluvia a través de cada boquilla aspersora (Humphry *et al.*, 2002). Para garantizar homogeneidad en intensidad y espacial, se colocaron recipientes colectores cubriendo los 3 m<sup>2</sup>. Después de 5 minutos se determinó la cantidad de agua colectada y con ello la intensidad y el coeficiente Christiansen (CU), donde se encontró que una presión de 20 PSI y una intensidad de 100 mm h<sup>-1</sup> obtuvieron un CU de 60% (tabla 2) (Zemke, 2016).





**Figura 2.** Características del simulador de lluvia tipo MEYER. Se muestra el aparato instalado en uno de los sitios de muestreo.

Se instaló el simulador de lluvia en cada parcela seleccionada colocando un tubo pvc a favor de la pendiente para coleccionar el sedimento generado. Se simuló lluvia por un periodo de 30 minutos con la presión controlada para cada parcela de un total de tres por sitio. El sedimento fue colocado en recipientes que fueron analizados en el laboratorio. Se tomaron datos de control para cada sitio durante el desarrollo del experimento: cobertura del dosel, tipo de vegetación, profundidad de la capa de ceniza/mantillo no quemado, pendiente, densidad y abundancia de arbolado, así como un registro de sotobosque intacto.

**Tabla 2.** Características de la lluvia durante la simulación. PSI – presión de operación; pp (mm hra-1) – intensidad de la lluvia; CU – Coeficiente de Christiansen.

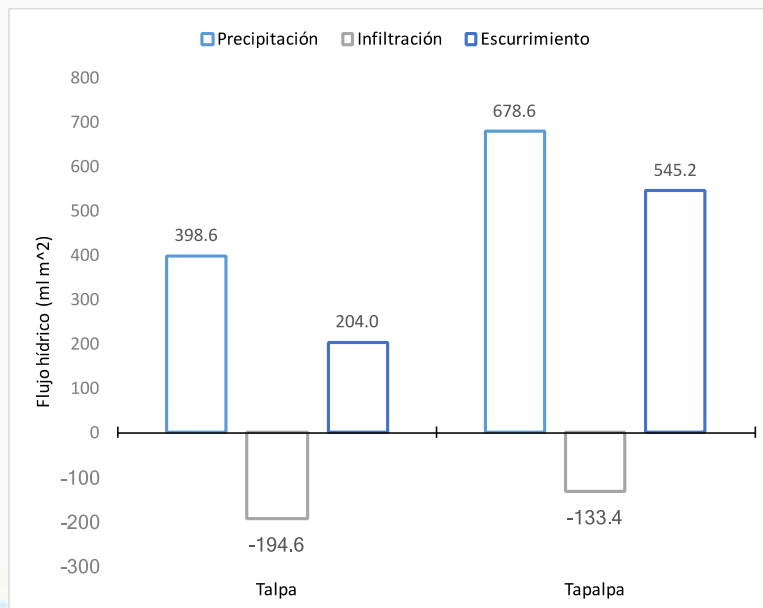
SITIO	PSI	PP (mm hr <sup>-1</sup> )	CU
La Cuesta	18.33	398.60	68.44
Tapalpa	20.67	678.57	60.37

En el laboratorio se pasaron las muestras por un filtro de suelo colocado sobre pipetas graduadas para determinar la cantidad de sedimento captado durante el experimento de lluvia. Se registró el peso en gramos de la ceniza y sedimentos después de que los filtros fueron tarados y quedaron libres de humedad.

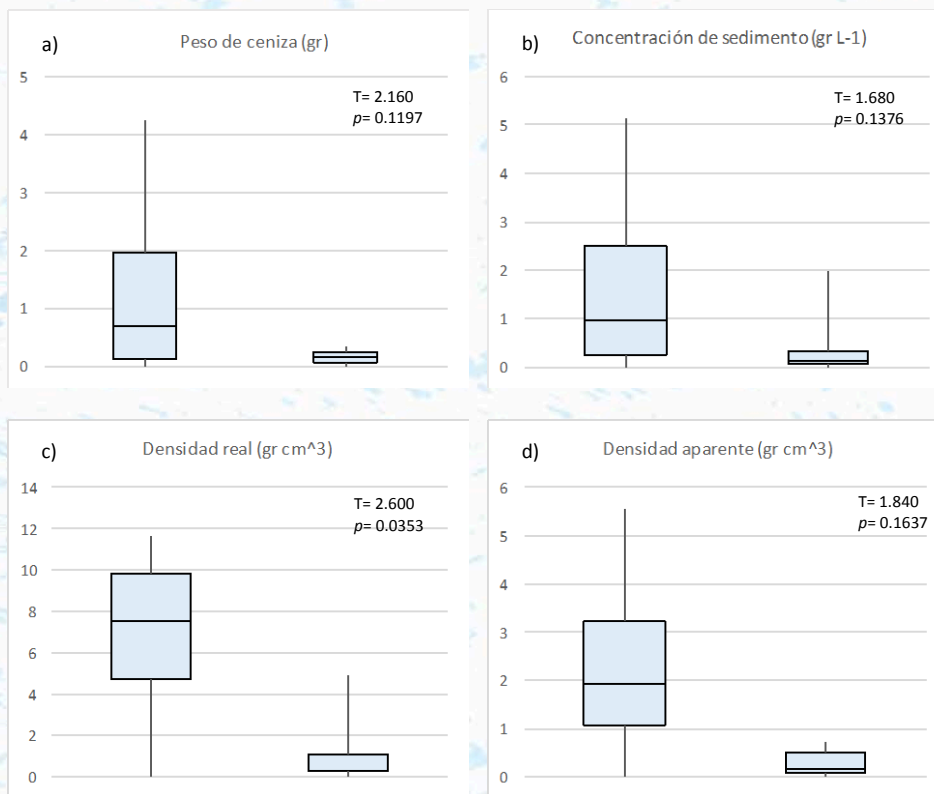
Los datos de lluvia, infiltración y peso de la ceniza fueron empleados para determinar valores de concentración de sedimento, densidad real, aparente y porosidad. Posteriormente los datos fueron analizados mediante técnicas de comparación de medias para comprobar diferencias entre los sitios y las condiciones de severidad.

### 3. RESULTADOS

En total se simuló una precipitación de entre 400-680 mm hr<sup>-1</sup> para ambos sitios, que presentaron distintos valores de infiltración (figura 3). En el sitio de Talpa se infiltró el 48.8% de la lluvia, mientras que en Tapalpa solo se filtró el 19.6%, la mayor parte del agua se escurrió cuesta abajo junto con los sedimentos que fueron evaluados.

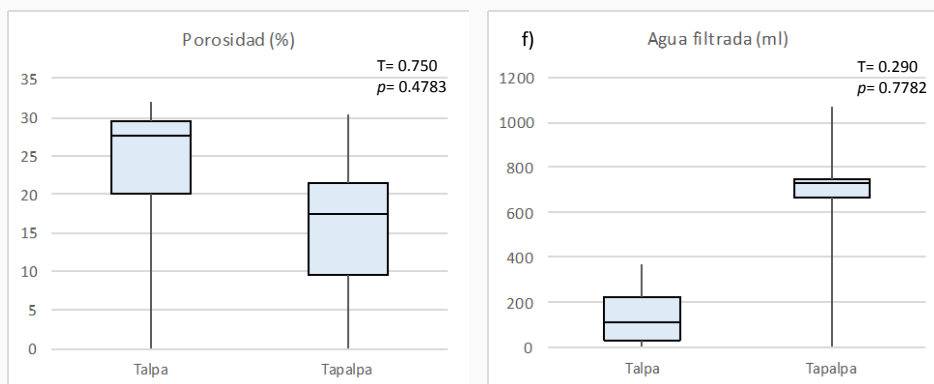


**Figura 3.** Flujo hídrico descrito por valores de precipitación, infiltración y escurrimiento obtenidos durante la simulación de lluvia en los sitios quemados de Talpa y Tapalpa.



e)





**Figura 4.** Distribución de los datos por variable y por sitio. Se muestran los valores de la prueba *t-student* y valores *p* para comprobar similitud entre medias.

La cantidad de ceniza que se encontró en el escurrimiento de la precipitación simulada, fue mayor en Talpa (promedio de  $0.093 \text{ ton ha}^{-1}$ ) que en Tapalpa (promedio de  $0.022 \text{ ton ha}^{-1}$ ). Durante las repeticiones, las parcelas de Tapalpa mostraron baja variabilidad en presencia de ceniza, en comparación con las parcelas de Talpa donde se observó mayor variabilidad para cada repetición (figura 4-a). La concentración de sedimento mostró un patrón similar a la ceniza (figura 4-b), pero la diferencia entre medias no mostró significancia estadística con un error de 5%.

La densidad de la muestra y la densidad aparente, también mostraron un patrón similar entre sí, pero distinto entre sitios (figura 4- c y d). En general, las parcelas del sitio quemado con mayor severidad mostraron una mayor densidad de partículas, siendo esta diferencia significativa para los valores reales.

La porosidad resulta de una relación entre la densidad real y la densidad aparente, por lo que los valores observados siguen un patrón similar a la densidad de los sedimentos analizados (figura 4-e). Se encontró que las muestras de Talpa son más porosas que las de Tapalpa, aunque la diferencia entre las medias no resultó significativa.

Con respecto al agua que se empleó para determinar la cantidad de cenizas y sedimentos, en el caso de Talpa fue menor que para el caso de Tapalpa (figura 4-f), aunque este último presentó mayor variabilidad entre simulaciones como se observa en los valores cuartiles del gráfico. La diferencia entre sitios no fue significativa estadísticamente.



**Figura 5.** Condiciones iniciales después de una semana del incendio en Talpa (a) y un mes en Tapalpa (b). Se observa una menor cobertura y contenido de ceniza en Talpa, que en Tapalpa, donde se perciben partículas en el mantillo que no fueron consumidas por el fuego.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los resultados de este trabajo muestran que el efecto del fuego bajo condiciones de baja o alta severidad son similares inmediatamente después del incendio. En primer lugar, la infiltración observada fue menor en el sitio



quemado de menor severidad que en alta severidad. En condiciones sin fuego, la infiltración ocurre con mayor cantidad al inicio de la lluvia y va disminuyendo debido a que los poros del suelo se llenan de agua reduciendo la fuerza de capilaridad, entonces el agua ocupa los espacios porosos sellando la superficie del suelo; cuando ocurre un incendio, la mayor disponibilidad de sedimentos y ceniza, así como la reducción en la cobertura vegetal, contribuyen a este proceso (Cerde y Robichaud 2009). Para el caso del sitio de mayor severidad de fuego se observó mayor infiltración, indicando que las condiciones iniciales presentaron mayor disponibilidad para filtrar agua. Esta afirmación se confirma con niveles de mayor porosidad en Talpa que en Tapalpa.

El efecto del fuego en la infiltración puede ser muy dinámico en el tiempo y en el espacio: puede iniciar reduciendo la capacidad de infiltración favoreciendo un mayor flujo superficial y a su vez incrementando la posibilidad de inundaciones tierras abajo. En el caso de Talpa y Tapalpa, la cantidad de precipitación simulada que se infiltró pudo haberse debido al historial de incendios del área y la cantidad de hojarasca y materia orgánica presente antes del incendio. En zonas no quemadas en el mismo lugar, la profundidad de hojarasca alcanzaba los 10 cm con algunos puntos más profundos; esta capa de hojarasca contribuye a retener humedad y prolongar la infiltración (Cerde 1998). Para el caso de Tapalpa, la infiltración fue menor, asimismo se presentó la menor densidad de los sedimentos y la menor porosidad, valores que están relacionados con un mayor escurrimiento (Cerde y Robichaud 2009).

La ceniza inicialmente influye en la entrada de agua a los poros del suelo por ser más fina, ocasionando procesos de repelencia cercanos a la superficie. En el caso de Talpa, con el incendio más severo y con mayor presencia de ceniza, el efecto inmediato fue contrario: hubo más infiltración inicialmente probablemente debido a que era más profunda y podía almacenar más agua de manera superficial. Este patrón fue observado en otro estudio donde se registró un incremento inicial en la infiltración, pero una disminución cuando la cantidad de ceniza disminuyó (Cerde 1998). Por otro lado, en Tapalpa, la infiltración fue menor probablemente debido a una zona de repelencia localizada favorecida por la presencia de partículas más grandes que no fueron quemadas y favorecieron que el agua no penetrara al suelo. Este patrón se observó en otros estudios durante los primeros dos años después del fuego, pero el efecto repelente desapareció al término de ese tiempo (De Bano, 1981; Dekker y Ritsema, 2000; Letey, 2001).

El movimiento de sedimentos por efecto del agua de lluvia después de un incendio, está relacionado con la cantidad de suelo mineral que quedó expuesto, es decir, el tamaño del claro que dejó la combustión desde el suelo hasta el dosel; también es muy importante el calor que se ejerció al suelo por el paso del fuego y los factores asociados con las características fisiográficas del terreno como la pendiente y el drenaje. La lluvia simulada en este experimento sumó un total de treinta minutos por parcela y se encontró que la cantidad de ceniza y su concentración por unidad de área, fue mayor en el área quemada con mayor severidad, indicando un efecto inmediato de incremento en la tasa erosiva en comparación con el sitio quemado de menor severidad.

El efecto del fuego en la infiltración y la erosión en los bosques de pino – encino de las sierras de Talpa y Tapalpa fue distinto debido a la severidad del último evento de fuego. Mientras mayor severidad se observó mayor infiltración y mayor movimiento de sedimentos. La mayor porosidad coincide con la mayor infiltración, pero no así con la erosión, ya que se observó mayor concentración de partículas en Talpa. Esto está relacionado con la cantidad de cenizas y el grado de combustión del incendio. Aunque estos efectos son localizados, y podrían ser temporales, el historial de incendios en la región se ha mantenido dentro de una variación que ha permitido la regeneración del bosque de pino-encino de manera constante.

Los resultados de esta investigación demuestran que el fuego severo tiene efectos más intensos en procesos hidrológicos y erosivos en este tipo de vegetación. El sitio de Tapalpa ha estado sujeto a aprovechamiento forestal en las últimas décadas, lo que influye en una estructura de bosque abierto que se mantiene a pesar de la incidencia de incendios. En cambio, el bosque de Talpa se quemó como resultado de un incendio fuera de la incidencia histórica y que no ha sido sometido a intervenciones de ningún tipo, lo que contribuyó a que el incendio fuera más severo.

Los incendios forestales en bosques de pino-encino en la región estudiada, no contribuyen a incrementar la erosión o disminuir la infiltración por sí solos. Es importante tomar en cuenta otros factores adicionales a los incendios para determinar la influencia del fuego en estos procesos como el historial de manejo y las estrategias de intervención adoptadas. Asimismo, es fundamental considerar la escala temporal en la que se evalúan los efectos



pues inmediatamente después del fuego, se espera un incremento en flujo de sedimentos y escurrimiento, pero conforme la vegetación se reestablece, estos efectos se disminuyen. Por lo tanto, cuando se trata de evaluar los efectos del fuego en la erosión e infiltración, es importante tomar en cuenta el tiempo de recuperación de la cobertura y las condiciones estructurales que influyen en la retención de sedimento y la porosidad del suelo.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo del Departamento de Ecología y Recursos Naturales del Centro Universitario de la Costa Sur – Universidad de Guadalajara, así como del proyecto PRO-SIN 2018 recibido como apoyo a la Dra. Shatya Devi Quintero Gradilla. También recibió apoyo de los estudiantes de Ingeniería en Recursos Naturales y Agropecuarios como asistentes en la fase de campo. Asimismo, el apoyo recibido por los propietarios de la Hacienda La Yerbabuena, en Tapalpa por prestar sus instalaciones y apoyo logístico, y del ejido de Talpa para acceder al bosque del Mirador en La Cuesta. Agradecimientos especiales al personal de CONSAEFA S.C. por la facilitación de materiales y equipo para realizar el muestreo en Talpa.

## 6. LITERATURA CITADA

Cerdà, A. y Robichaud P.R. 2009. *Fire effects on soils and restoration strategies* (Vol. 5). CRC Press.

Cerdà, A. 1998. Changes in overland flow and infiltration after a rangeland fire in a Mediterranean scrubland. *Hydrological Processes*, 12: 1031-1042.

DeBano, L.F. 1981. Water repellent soils: a state-of-the-art. General Technical Report PSW-46. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley, California, USA.

Dekker, L.W. y Ritsema C.J. 2000. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *Journal of Hydrology*, 231-232: 148-164.

Fornis, R.L.; Vermeulen, H.R.; y Nieuwenhuis, J.D. 2005. Kinetic energy-rainfall intensity relationship for Central Cebu, Philippines for soil erosion studies. *Journal of Hydrology*, 300, 20–32.

Humphry, J. B., Daniel, T. C., Edwards, D. R., y Sharpley, A. N. 2002. A portable rainfall simulator for plot-scale runoff studies. *Applied Engineering in Agriculture*, 18(2), 199.

Iserloh, T.; Fister, W.; Seeger, M.; Williger, H.; y Ries, J.B. 2012. A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. *Soil Tillage Resources*. 124: 131–137.

Letey, J. 2001. Causes and consequences of fire-induced soil water repellency. *Hydrological Processes*, 15: 2867-2875.

Zemke, J. 2016. Runoff and soil erosion assessment on forest roads using a small scale rainfall simulator. *Hydrology*, 3(3), 25.



## **Mesa 12.**

### **Servicios ecosistémicos (SE) y Pago por Servicios Ambientales (PSA)**



## ID-024: VALORACIÓN ECONÓMICA DEL AGUA EN VALLE DE GUADALUPE

Carolina USCANGA TEJEDA<sup>1\*</sup>, Roberto Ramón ENRÍQUEZ ANDRADE<sup>2</sup>, Ángel VELA CÁRDENAS<sup>3</sup>,  
Natalia RODRÍGUEZ-REVELO<sup>4</sup>, Ileana ESPEJEL<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana, Ensenada, Baja California, email: <sup>1\*</sup>[uscanga@uabc.edu.mx](mailto:uscanga@uabc.edu.mx), <sup>2</sup>[enriquez@uabc.edu.mx](mailto:enriquez@uabc.edu.mx), <sup>4</sup>[natalia.rodriguez81@uabc.edu.mx](mailto:natalia.rodriguez81@uabc.edu.mx), <sup>5</sup>[ileana.espejel@uabc.edu.mx](mailto:ileana.espejel@uabc.edu.mx)

<sup>3</sup>Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada, Calle Tercera, Zona Centro, Ensenada, Baja California, email: [econ3uabc@gmail.com](mailto:econ3uabc@gmail.com)

### RESUMEN

El Valle de Guadalupe (VG), al norte del municipio de Ensenada, Baja California, destaca por la producción de vid, olivo, cítricos y hortalizas; además de actividades pecuarias, industriales, turísticas y vitivinícolas. Las virtudes del valle han propiciado el desarrollo socioeconómico de la región, pero también una fuerte presión ambiental en el aprovisionamiento del agua, tema prioritario de esta investigación. El objetivo de este trabajo fue calcular el precio sombra (valor de referencia para los costos sociales y privados) por el aprovechamiento del recurso hídrico con relación al valor agregado de la producción. Para ello, i) se determinaron los servicios ecosistémicos que ofrece la cuenca Guadalupe, 2) se describió la situación del valle respecto al consumo hídrico según sus diferentes actividades socioeconómicas, 3) se determinaron tres escenarios de provisión de agua en el acuífero que abastece al valle; y 4) se definió el modelo matemático de valoración y sus variables de acuerdo con la metodología de programación lineal. Se encontraron 1) veinte servicios ecosistémicos, 2) tres escenarios de disponibilidad hídrica (volumen concesionado de extracción en el acuífero, su recarga media anual y la estimación de recarga media anual en condición de sequía por efectos de cambios climático); y 4) el precio sombra del agua como servicio ecosistémico en 0.84 pesos/m<sup>3</sup> incrementando hasta 25.52 pesos/m<sup>3</sup> en situación de cambio climático. Estos resultados sugieren integrar la visión ecosistémica a largo plazo tanto en la generación de datos como en los instrumentos de planeación que maximicen el aprovechamiento considerando el valor real del recurso hídrico.

**Palabras clave:** Servicios ecosistémicos, planeación regional, precio sombra.

### 1 INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos (SE) son los beneficios del propio ecosistema aprovechados por los humanos y que no tendrían importancia si no fuera por la valoración de uso que le imprime la sociedad (Latterra, et al., 2015). Están definidos en diversos listados, -por ejemplo DeGroot 2006; iniciativas como la *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*, el proyecto *Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad*, la *Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas*, entre otros-, y se agrupan en servicios de regulación, provisión, soporte e información.

Diferentes autores (Galán et al., 2012; Liqueste et al., 2012; Tosto, et al., 2015) mencionan la importancia que tienen los SE así como el estudio de sus interrelaciones socio-ecológicas, ya que ayudan a comprender las consecuencias del deterioro ambiental y la pérdida del bienestar social. Incorporar esta información en el proceso de toma de decisiones, así como las causas y consecuencias de su transformación en las distintas escalas espaciales y temporales, son objetivos prioritarios en la gestión pública representada por el Estado, sus organismos sectoriales en los distintos niveles de gestión y en las políticas públicas que se definan (Galán et al., 2012; Liqueste, et al., 2012).

En México, la ejecución de las políticas de planeación ambiental recae en las facultades de los municipios debido a las alteraciones en los cambios de uso de suelo, discontinuidades en la morfología causadas por las manchas urbanas y la aglomeración implícita de la población y sus actividades productivas (SEDATU, 2017). Los Programas Municipales de Desarrollo Urbano (PMDU) contienen las disposiciones jurídicas para planear y regular los asentamientos humanos en el territorio municipal con el objetivo de establecer políticas y estrategias para el desarrollo urbano mediante la zonificación, normas de uso y aprovechamiento de suelo, así como establecer



acciones de conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población. En sus lineamientos, se reconoce al sistema hidrológico como el límite ambiental de la aglomeración de los municipios (SEDATU, 2017).

### **El agua como elemento de planeación de política pública**

En el contexto internacional, el agua es considerada como un recurso esencial para el desarrollo social y económico. Para garantizar la seguridad hídrica, en los Objetivos de Desarrollo del Milenio se propone la mejora en la gestión de los recursos hídricos encaminada a la satisfacción de necesidades mediante el encause de las políticas públicas en cuatro objetivos generales: mejorar los servicios de agua potable y saneamiento; gestionar la oferta y la demanda de recursos hídricos; mejorar el estado de los recursos hídricos y su entorno ambiental; así como adaptarse a los fenómenos hidrometeorológicos extremos (WWAP, 2012).

Ante esta situación, la Organización de las Naciones Unidas propuso en el 2007 el *Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica para el agua* (SCAE-Agua) y en 2010 las *Recomendaciones Internacionales para las Estadísticas del Agua* (RIEA) con la finalidad de identificar los temas de atención a nivel social, económico y ambiental para realizar el seguimiento de las políticas pertinentes. Para cada uno de los objetivos generales, el SCAE-Agua propone indicadores específicos mediante datos y estadísticas de recursos hídricos los cuales ya han sido integrados en más de 50 países en el cálculo de sus cuentas nacionales (WWAP, 2012).

Grizzetti y colaboradores en 2015 mencionan que la planeación debe ser desde la perspectiva de ecosistemas acuáticos y determinaron tres tipos de escala (cuerpo de agua, cuenca y continente) para analizar los SE propios: suministro de agua para actividades productivas, agua potable, provisión de alimentos, purificación del agua, prevención de la erosión, protección contra inundaciones, hábitat para crianza y desarrollo de especies, secuestro de carbono y servicios recreativos.

La delimitación de cuencas hidrográficas bajo los criterios de la integración de la red hidrológica, el respeto al comportamiento del sistema ambiental, los patrones de distribución de suelos, la cobertura vegetal y las regiones biogeográficas a gran escala permiten que la división de cuencas sea un instrumento de planeación (Cruz, 2003).

### **La valoración económica de servicios ecosistémicos como instrumento para la planeación**

La valoración económica es el proceso de asignar un valor monetario a los bienes y servicios el cual puede ser aplicado a los recursos naturales y SE. Se busca determinar el valor económico total del ecosistema, el cual está conformado por los valores de uso consuntivo; valor de uso indirecto por la protección y soporte de actividades económicas; valor de opción cuando existe incertidumbre por su demanda y disponibilidad futura; así como el valor de no uso o existencia (Galán et al. 2012).

Existen diferentes metodologías de valoración económica para cada uso del recurso. Los resultados de estos procesos métricos por lo general son representados en precios, por lo que es fácil confundir la información que esta medición revela. El precio y el valor son dos conceptos utilizados por igual pero que, desde la perspectiva económica, son diferentes. Samuelson y Nordhaus (2006) definen que el valor es un término utilizado para referirse a la importancia y uso de los bienes y servicios disponibles en el mercado, mientras que el precio lo precisan como su costo indicado en términos monetarios. El concepto de valor puede ser expresado en términos monetarios, temporales, laborales o relativos ya sea utilizando indicadores sobre el número de personas beneficiadas, sus preferencias, los costos de uso o por preservar los SE (Lattera et al., 2015).

En la literatura académica de valoración de SE, es común encontrar el concepto de precio sombra, referido al costo económico de mantener el equilibrio ambiental ante la presencia de impactos, por lo que son considerados como precios de oportunidad y no de mercado. El cálculo del precio sombra puede ser estimado con la metodología de modelos de programación lineal, el cual es recomendado para la estimación de los SE de uso directo (por ejemplo el agua como insumo de la producción) y se expresa en las variaciones marginales, es decir, en los cambios que presenta la función objetivo ante variaciones en el recurso -en este caso, recurso natural- de interés (Godínez-Montoya et al., 2007; Azqueta et al., 2007; Zetina et al., 2013).

En cuanto al valor de uso del agua, de manera general, se encuentra determinado por los sectores demandantes de industria, comercio, uso doméstico y actividades agropecuarias, siendo estas últimas las que ejercen mayor presión sobre el recurso. La ineficiente asignación del agua subterránea y superficial entre usuarios ha provocado un consumo excesivo, la disminución en su calidad y cantidad, además del deterioro en el ambiente (Sánchez-Brito et al., 2013).



A pesar de que la mayor parte de los estudios de valoración económica del recurso hídrico en México se centran en la provisión de agua para agricultura, existen otros que presentan una visión integral en los SE, como lo es el estudio de Silva-Flores y colaboradores en (2010), quienes establecen que las sociedades se preocupan por el servicio de distribución de agua en las ciudades en zonas áridas y semi-áridas, pero no existen muchos trabajos que aborden la problemática de provisión ni la valoración cuantitativa del servicio en el ecosistema.

Por lo tanto, el objetivo general de este trabajo es estimar el precio sombra del servicio ecosistémico de aprovisionamiento de agua en VG, el cual se clasifica como un valor de uso directo en el ecosistema y se aborda desde el enfoque privado, considerando el monto de valor agregado que cada m<sup>3</sup> de agua aporta a la economía del valle, así como en específico para cada actividad socioeconómica. Los objetivos particulares son, 1) enlistar los SE existentes en el VG; 2) describir la realidad hídrica del valle respecto al servicio ecosistémico de provisión de agua; 3) establecer escenarios de disponibilidad hídrica del acuífero Guadalupe; y 4) definir las variables y el modelo matemático para estimar los precios sombra por m<sup>3</sup> de agua considerando las restricciones del acuífero Guadalupe por recarga media anual y cambio climático.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El VG comprende una extensión de 66,353 hectáreas y se localiza a 25 km al norte de la ciudad de Ensenada y a 85 km al sur de la ciudad de Tecate. Es un valle de origen fluvial a través del cual corre el arroyo Guadalupe y se encuentra flanqueado por cerros entrecortados por diversas cañadas, los cuales alcanzan altitudes de 600 metros al noroeste y hasta de 1,300 metros al sureste. Cuenta con una población de 7,917 habitantes, representando el 1.6% de la población total del municipio de Ensenada, distribuida en las localidades de San Antonio de las Minas, El Porvenir, Ignacio Zaragoza y Francisco Zarco (IMIP, 2009; Leyva & Espejel, 2013).

La principal actividad económica es la agricultura, con cultivos de tipo mediterráneo como la vid, olivo, cítricos, variedad de frutales, algarrobo, diversidad de hortalizas, flores y hierbas de olor. Otras actividades que se desarrollan son el turismo recreativo, ecoturismo, conservación, agroindustria, rancherías, conjuntos habitacionales y actividades relacionadas con el sector comercial y de servicios, así como ganadería extensiva. Con sus características tormentas de invierno y veranos secos, la precipitación media anual va de 200 a 350 mm en la zona costa y en las cimas de los cerros costeros hasta 400 mm propiciado el crecimiento de matorral costero y chaparral como vegetación dominante (IMIP, 2009; Leyva & Espejel, 2013).

La captación de agua que recibe el acuífero Guadalupe se origina de las precipitaciones pluviales que ocurren en la cuenca y que alcanzan el cuerpo de agua en sentido vertical y horizontal. La recarga vertical se asocia a la infiltración de agua de lluvia en el valle e infiltración a lo largo de los arroyos principales, mientras la recarga horizontal se asocia al flujo subterráneo que incide en el acuífero y que se infiltra por las fracturas de las rocas o a través del pie de monte. De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola, el agua residual producto de las descargas urbanas y las fugas en la red de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. El volumen de recarga media anual estimado es de 25.4 millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>) (SPA, 2016).

### Listado de servicios ecosistémicos

Se realizó una revisión bibliográfica referente al área de estudio haciendo uso de las palabras clave en español e inglés “Guadalupe Valley Ensenada”, “Guadalupe Valley” y “Baja California” en las bases de datos EBSCO, Elsevier, catálogos de las bibliotecas de la Universidad Autónoma de Baja California, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, el Colegio de la Frontera Norte y el buscador GOOGLE. Se obtuvieron 121 publicaciones; de los cuales sólo 68 estudiaron explícitamente el área de interés y se clasificaron conforme al listado de SE presentado por De Groot (2006).

De igual manera, se detectaron y enlistaron los SE implícitos en los siguientes instrumentos y políticas de planeación ya establecidos de manera oficial en el VG: i) *Directrices de Desarrollo: Corredor San Antonio de las Minas-Valle de Guadalupe*, publicado en 2003; ii) *Programa de Ordenamiento Ecológico del corredor San Antonio de las Minas-Valle de Guadalupe*, publicado en 2006; iii) *Programa sectorial de Desarrollo Urbano-Turístico de los Valles Vitivinícolas de la Zona Norte del Municipio de Ensenada (Región del Vino)*, BC, publicado en 2006; iv) *Programa de desarrollo regional: Región del Vino*, publicado en 2010 y v) *Programa ambiental*

*estratégico de la región vitivinícola de Valle de Guadalupe, municipio de Ensenada, Baja California México*, publicado en 2016.

### Descripción de la realidad hídrica

Se realizó trabajo de gabinete revisando datos proporcionados por el Instituto de Investigación y Planeación de Ensenada (IMIP-ENS) de las principales actividades económicas existentes en el valle: agricultura, ganadería, producción industrial y servicios turísticos de acuerdo a los códigos del *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte* (SCIAN, 2013) así como consultas de diversas fuentes de información oficial proveniente de instituciones federales y estatales relacionadas con el tema de interés: Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California, SAGARPA, INIFAP, e INEGI.

Para complementar esta información se realizaron salidas de campo en las localidades de San Antonio de las Minas, El Provenir y Francisco Zarco, oficinas de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE), oficinas en Ensenada de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Baja California, así como la Unión Ganadera Regional de Baja California con el fin de validar información sobre el sector agrícola, ganadero y tarifas de suministro de agua.

### Escenarios de disponibilidad hídrica

Para establecer los escenarios de disponibilidad hídrica en el acuífero Guadalupe, se tomó como escenario base el volumen de agua concesionado en los títulos de extracción del Registro Público de Derechos de agua (REPD), así como los escenarios de recarga media anual y recarga media anual en situación de cambio climático propuestos en el documento *Programa ambiental estratégico de la región vitivinícola de Valle de Guadalupe, municipio de Ensenada, Baja California México* (SPA, 2016).

### Modelo para estimación de precio sombra

Con la información anterior, se creó una base de datos con 24 registros integrando las actividades agrícolas, industriales, de servicios turísticos, consumo doméstico de agua y consumo público-urbano (tabla 1), las cuales consideraron la siguiente información: hectáreas destinadas a la producción por tipo de producto agrícola, consumo de agua anual medido en metros cúbicos, valor agregado de la producción en precios corrientes 2017 y personal ocupado por tipo de actividad.

Tabla 1. Actividades económicas descriptivas de Valle de Guadalupe.

Cultivos				Actividades económicas			
1	Vid	7	Frutales	13	Elaboración de bebidas alcohólicas	19	Cafeterías / Fuentes de soda
2	Olivo	8	Florales	14	Hospedaje	20	Restaurantes de pizza
3	Algarrobo	9	Alfalfa achicalada	15	Restaurantes de comida corrida	21	Restaurantes otros
4	Cilantro	10	Rábanos	16	Restaurantes en general	22	Comercio y servicios profesionales
5	Cítricos	11	Ejote	17	Restaurantes de antojitos	23	Sector doméstico
6	Tomate	12	Pepino	18	Restaurantes de tacos y tortas	24	Sector público urbano

Fuente: Elaboración propia.

Se buscó establecer el modelo de programación lineal para estimar el precio sombra, tomando como base el modelo no publicado de programación lineal propuesto por el equipo de trabajo del IMIP-ENS (enero 2018, comunicación personal). Ya que la metodología de programación lineal es una herramienta versátil, el objetivo del modelo propuesto fue modificado en el presente estudio: en lugar de considerar el personal ocupado por metro cúbico de agua (modelo original), se tomó como base el valor agregado censal bruto generado por cada metro cúbico de recurso hídrico utilizado en las actividades económicas del valle y las cuáles se encuentran restringidas por la disponibilidad de agua en el acuífero.



Estos coeficientes fueron utilizados para expresar el problema de optimización:

$$a_n = \frac{\text{Valor agregado}_n}{(\text{consumo de agua en m}^3)_n} \quad \max \sum_{n=1}^{24} a_n \cdot x_n$$

### Restricciones

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{24} x_n &\leq W \\ x_1 &\leq 15,618,400 \\ x_2 &\leq 5,084,800 \\ x_3 &\leq 77,200 \\ x_4 &\leq 145,662 \\ x_5 &\leq 340,500 \\ x_6 &\leq 152,240 \\ x_7 &\leq 114,800 \\ x_8 &\leq 150,000 \\ x_9 &\leq 110,000 \\ x_{10} &\leq 50,320 \\ x_{11} &\leq 20,880 \\ x_{12} &\leq 19,530 \\ x_{13} &\leq 258,287 \\ x_{14} &\leq 26,154 \\ x_{15} &\leq 1,321 \\ x_{16} &\leq 186 \\ x_{17} &\leq 349 \\ x_{18} &\leq 311 \\ x_{19} &\leq 417 \\ x_{20} &\leq 738 \\ x_{21} &\leq 153 \\ x_{22} &\leq 911,035. \\ x_{23} &= 40,000 \\ x_{24} &= 6,325,555 \end{aligned}$$

### Restricción de no negatividad

$$x_n \geq 0$$

Donde  $n$  indica cuál de las 24 actividades se está analizando de acuerdo con la enumeración de la tabla 1,  $a$  es el coeficiente estimado de beneficio marginal para el 2017 (pesos/m<sup>3</sup>) de la actividad  $n$ ;  $x_n$  representa la cantidad de agua asignada a la actividad  $n$  medida en metros cúbicos anuales y finalmente  $W$  expresa la disponibilidad por año del agua en el acuífero cada escenario propuesto.

El modelo de programación lineal propuesto en este estudio tiene como objetivo maximizar el valor agregado por m<sup>3</sup> de agua asignado a cada actividad socioeconómica del VG, obteniendo como resultado 25 precios sombra: uno para cada restricción de agua. La restricción enlistada como número uno representará el precio sombra agregado del servicio ecosistémico de provisión de agua en el acuífero y las soluciones al resto de restricciones serán los precios del agua específicos para cada una de las actividades definidas en el modelo. Para realizar los cálculos del modelo de programación lineal, se utilizó del software de optimización matemática LINGO en su versión 10.

### **3 RESULTADOS**

#### **Listado de servicios ecosistémicos**

Se identificaron doce SE que oferta la cuenca del VG (figura 1). Si se unen estos a los 18 servicios encontrados en materia de planeación, suma un total de veinte SE reconocidos, destacando el suministro de agua, cultivo, facilidades turísticas y hábitat.

#### **Descripción de la realidad hídrica.**

Se encontró que en el sector agrícola los principales cultivos son: vid, olivo, algarrobo, cilantro, cítricos, tomate, una diversidad de árboles frutales, flores comestibles y de ornato, alfalfa achicalada, rabanitos, ejote, pepino y zanahoria. En las salidas a campo se detectó la existencia de corrales con ganado bovino, porcino, caprino y ovino, así como la práctica de cunicultura y avicultura en las cercanías de los poblados. No se encontró información suficiente para estimar la demanda de agua por especie ni el valor agregado de su producción para el año de estudio. Para el sector industrial se identificaron dos ramas económicas: las empresas dedicadas a la producción de aceite de oliva (almazaras) y las destinadas a la elaboración de bebidas alcohólicas. En turismo, se caracterizaron dos subsectores: las unidades de alojamiento y los servicios restauranteros. Se confirmó en campo que la mayor parte de la población satisface sus necesidades de agua potable mediante conexiones con la red provista el CESPE, o comprando agua en bloque, o bajo un derecho de extracción de agua directamente de pozo. Los resultados de hectáreas cultivadas, número de empresas registradas en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades económicas (DENUE), las necesidades hídricas por actividad y su valor agregado en 2017 (Tabla 2).



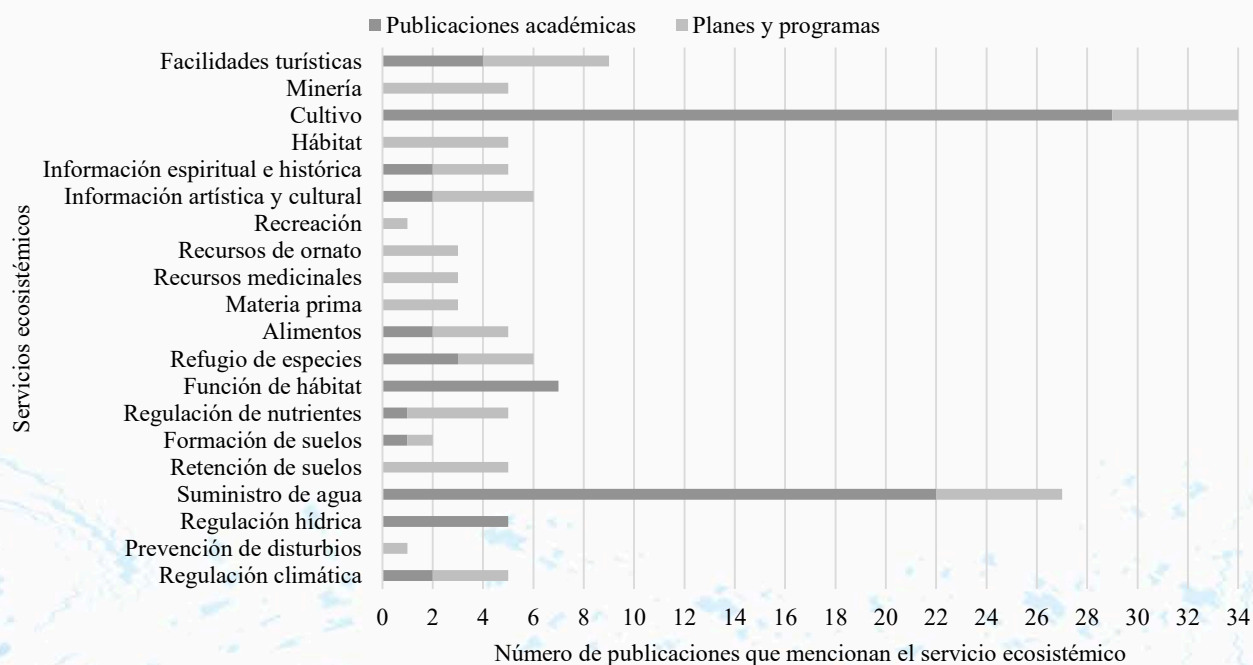


Figura 1. Número de publicaciones académicas y en materia de planeación que reconocen la existencia de servicios ecosistémicos en el Valle de Guadalupe. Fuente: Elaboración propia.

### Escenarios de disponibilidad hídrica.

Con la información del REPDA y SPA (2016) se determinaron tres escenarios de disponibilidad de agua en el acuífero Guadalupe:

i) Escenario actual: el acuífero de Guadalupe posee concesiones de extracción de hasta por 37 Mm<sup>3</sup> al año. Sin embargo, 9.6 Mm<sup>3</sup> corresponden a títulos concesionarios de uso diverso y uso pecuario los cuales no serán integrados en el modelo de programación lineal, por lo que la disponibilidad del recurso en este escenario será considerada en 26.4 Mm<sup>3</sup> como límite legal respaldado en los títulos de concesión del REPDA en el año 2017.

ii) Escenario de recarga media anual: Volumen de agua estimado en SPA (2016) donde se establece que el acuífero Guadalupe logra recargar anualmente 25.4 Mm<sup>3</sup> mediante procesos de recarga vertical, horizontal e inducida.

iii) Escenario de cambio climático: Volumen de recarga media anual estimado en 17.4 Mm<sup>3</sup> por Campos-Gaytán (2014) y que es considerado por SPA (2016) como escenario de cambio climático ya que dicho volumen se calculó tomando en cuenta una reducción del 40% en la precipitación anual respecto al valor medio de las lluvias registradas en el periodo 1999-2006.

### Precio sombra del agua en Valle de Guadalupe.

Todas las actividades anteriormente mencionadas, se manejaron como demandantes del recurso hídrico, por lo que con la información disponible se integraron 24 registros como usuarios de agua y a los cuales se les asignó un coeficiente estimando de valor marginal por m<sup>3</sup> de agua utilizado ( $a_n$ ) los cuales se muestran en la tabla 3.

Con estos valores fue posible calcular el precio sombra para cada uno de los escenarios propuestos y los cuales se muestran en la tabla 4. En el escenario actual, el precio sombra del agua es de \$0.84 por metro cúbico. En el escenario de recarga natural anual no se mostró diferencia al precio estimado en el escenario anterior y finalmente, en el escenario de cambio climático con menor provisión de agua en el acuífero, el precio sombra mostró un incremento de 2,938.09% respecto al escenario actual.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La revisión documental para la identificación de los SE presenta un fuerte sesgo por los servicios de provisión de condiciones para el cultivo y la obtención de agua. Por otra parte, los planes, programas y proyectos revisados resaltan a la minería por el aprovechamiento de arena en el arroyo Guadalupe, los servicios de hábitat de flora y fauna, así como el potencial turístico que el paisaje provee. Algunos SE no abordados en la literatura consultada y podrían ser potenciales de estudio en el Valle son el tratamiento de desechos y su eliminación, la polinización, el control biológico y la protección de germoplasma. Estos resultados concuerdan con Galán y colaboradores (2012) quienes comentan que los servicios de provisión de un ecosistema son los más reconocibles debido a su importancia para sustentar la vida y las actividades socioeconómicas desarrolladas sobre el territorio.

Tabla 2. Variables y resultados principales de la realidad hídrica en Valle de Guadalupe.

Variable	Hectáreas cultivadas o número de empresas registradas en el DENU	Necesidades hídricas (m <sup>3</sup> /ha/año)	Valor agregado (pesos 2017)
Vid	2231.2	7000	216422520
Olivo	635.6	8000	5924669.253
Algarrobo	77.2	1000	385932.9624
Cilantro	59.6	2444	5396705.19
Cítricos	45.4	7500	8374175.654
Tomate	17.3	8800	24492843.95
Frutales	16.4	7000	1845447.489
Florales	12.5	12000	1770367.869
Alfalfa achicalada	10	11000	1135989.186
Rabanitos	7.4	6800	2152551.684
Ejote	3.6	5800	57980.2461
Pepino	3.1	6300	690665.3892
Elaboración de bebidas alcohólicas	24	258287	14459336.08
Hospedaje	7	26154	8868186.376
Restaurantes de comida corrida	3	1322	1514506.491
Restaurantes	1	187	309410.8844
Restaurantes de antojitos	3	350	540124.3993
Restaurantes de tacos y tortas	2	311	451957.3046
Cafeterías / fuentes de soda	3	417	598390.3772
Restaurantes de pizza	5	738	1226542.318
Restaurantes otros	1	154	166943.7507
Comercio y servicios profesionales	230	911036	65,040,941
Uso doméstico	NA	40000	NA
Uso público urbano	NA	6325555	NA

Fuente: Elaboración propia. NA= No aplica.



No existen suficientes datos oficiales disponibles para realizar balances de oferta y demanda de agua proveniente del acuífero. La información oficial agregada a nivel municipio dificulta extraer las particularidades de VG, las cuales son diversas tanto sus intensidades de consumo hídrico, como en la magnitud del valor agregado que generan, por lo que los datos obtenidos en campo son los más cercanos a la realidad.

Los escenarios propuestos disponibilidad en el acuífero Guadalupe son un vistazo a los múltiples futuros que la cuenca puede presentar en cuanto a flujo del recurso agua. Sin embargo, estos cálculos siguen siendo estimaciones conocidas como “agua de papel” por lo que no se cuenta con información precisa sobre el volumen de recarga, extracción y disponibilidad real de agua en el acuífero. Además no consideran situaciones de abundancia hídrica ya sea por fenómenos meteorológicos que causen el incremento extraordinario de precipitaciones o por la asimilación de un nuevo volumen de agua proveniente de descargas con diferente origen a los de la cuenca. El escenario actual carece de información disponible para validar el consumo pecuario y otros usos, por lo que no integrarlo en la perspectiva sesga la información a considerar; sin embargo, esto se determinó como pertinente debido al criterio de sólo utilizar información oficial.

Tabla 3. Coeficientes de valor marginal del agua en pesos por m<sup>3</sup> estimados para el Valle de Guadalupe

<i>n</i>	<i>Actividad</i>	<i>a<sub>n</sub></i>	<i>n</i>	<i>Actividad</i>	<i>a<sub>n</sub></i>
1	Vid	25.53	13	Elaboración de bebidas alcohólicas	53.46
2	Olivo	0.85	14	Hospedaje	323.78
3	Algarrobo	5.00	15	Restaurantes de comida corrida	1,094.35
4	Cilantro	37.05	16	Restaurantes	1,581.96
5	Cítricos	24.59	17	Restaurantes de antojitos	1,475.05
6	Tomate	161.25	18	Restaurantes de tacos y tortas	1,385.87
7	Frutales	18.75	19	Cafeterías / fuentes de soda	1,370.16
8	Florales	11.83	20	Restaurantes de pizza	1,586.42
9	Alfalfa achicalada	11.34	21	Restaurantes otros	1,038.34
10	Rabanitos	42.93	22	Comercio y servicios profesionales	284.09
11	Ejote	2.81	23	Doméstico	NA
12	Pepino	35.04	24	Público urbano	NA

Fuente: Elaboración propia. NA= No Aplica.

Tabla 4. Precio sombra del agua en Valle de Guadalupe por escenario de disponibilidad.

Escenarios	Restricción de agua Mm <sup>3</sup>	Precio sombra (pesos/m <sup>3</sup> )
Actualidad	26.4	0.84
Recarga media anual	25.4	0.84
Cambio climático	17.4	25.52

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que la metodología usada para el modelo matemático parte del supuesto que la situación hídrica de VG presenta condiciones de linealidad y deja fuera todas aquellas situaciones que no han sido especificadas (como pudieran ser la inversión de capital, mejoramiento en eficiencia hídrica, etcétera) el uso de la programación lineal permite comparar soluciones alternativas y analizar sus consecuencias, mostrando información suficiente para realizar combinaciones eficientes en la asignación de agua, permite la objetividad y la toma de decisiones basándose en datos duros con información conocida presentando versatilidad al poder incrementar o disminuir las especificaciones del modelo de acuerdo con la información que el tomador de decisiones tenga disponible.

Los resultados del precio sombra para la primera restricción del modelo de programación lineal determina que el valor del agua disponible para el escenario actual y el escenario de recarga media anual es de 0.84 pesos/m<sup>3</sup> entendido como el costo que implica la utilización del agua proveniente del acuífero Guadalupe. Al disminuir la cantidad de agua en una situación de cambio climático, se estima que dicho costo se elevará en casi 3,000%, lo que implica que las ganancias generadas por usar este recurso en situación de escasez crítica disminuirán el

beneficio obtenido en el valor de la producción de las actividades económicas, además de reducir el bienestar de los usuarios domésticos y del uso público- urbano.

La Tabla 4 muestra el precio del agua bajo el supuesto de que la demanda de agua en el contexto del valle se mantuviera constante, ya que de lo contrario, al modificarse los escenarios de necesidades y consumo hídrico, el precio estimado para el servicio ecosistémico cambiará. Esta situación consistente con el principio de escasez de la teoría económica, el cual establece que, al incrementar el valor de uso de un recurso este se volverá más escaso, por lo que su precio incrementará. Por el contrario, estos umbrales también expresan que, a mayor disponibilidad hídrica, el precio del recurso tenderá a reducirse, como se observa al cambiar de escenario de cambio climático por otro como el de la recarga media anual, donde el precio tiende a cero.

Estos resultados indican el valor que el servicio ecosistémico de provisión de agua tiene para la dinámica económica del VG y la importancia de su adecuada gestión para mantener y mejorar las condiciones del ecosistema. Sin embargo, es importante considerar que éste es sólo el valor de uno de los 20 servicios reconocidos en la cuenca, por lo que el estimar el precio del resto de ellos incrementará el valor total del ecosistema.

En general, la estimación del precio sombra de un recurso natural no implica que este valor se convierta en una tarifa de cobro por parte de las autoridades a quienes corresponde su manejo; en el caso del agua, este precio elimina los vacíos de información que existen por tratarse de un bien cuasi-público, por lo que nos encontramos a un paso más cerca de la asignación eficiente del escaso líquido vital.

## 5. AGRADECIMIENTOS

A todo el equipo del IMIP-ENS que de manera cálida abrieron sus puertas brindando datos y críticas constructivas sin las cuales, este trabajo no se hubiera logrado concretar.

A los integrantes del proyecto *Evaluación de riesgos bioeconómicos debido a la sobreexplotación de acuíferos en regiones áridas y costeras, urbanas y agrícolas*, liderado por la Universidad Autónoma de México en conjunto con la Universidad Técnica de Braunschweig (Alemania) y la Universidad Autónoma de Baja California por incluirme en su equipo de investigación; así como a la Fundación Río Arronte por su apoyo en el proyecto *Formulación y adopción de un plan de manejo de la cuenca Guadalupe, Ensenada, Baja California*.

## 6. LITERATURA CITADA

- Azqueta, D., Alviar, M., Domínguez, L., & O’Ryan, R. (2007). Introducción a la Economía Ambiental.
- Cruz, B.G. (2003). La cuenca como unidad de planeación ambiental. En Castillo, I. (2003) Seminario sobre Instrumentos Económicos para Cuencas Ambientales. Pp. 7-11.
- De Groot, R. (2006). Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 75(3-4), 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.016>
- Galán, C., Balvanera, P., & Castellarini, F. (2012). Políticas públicas hacia la sustentabilidad: integrando la visión ecosistémica. CONABIO, México.
- Godínez-Montoya, L., García-Salazar, J.A., Fortis-Hernández, M., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damián, M.A., Valdivia-Alcalá, R., Hernández-Martínez, J. (2007) Valor económico del agua en el sector agrícola de la Comarca Lagunera Terra Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, (25)1 pp. 51-59
- Grizzetti, A. B., Lanzaova, D., Lique, C., & Reynaud, A. (2015). Cook-book for water ecosystem service assessment and valuation. European Commission Disponible en <https://doi.org/10.2788/67661>
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada. (2009). Programa Sectorial de Desarrollo Urbano-Turístico de los Valles Vitivinícolas de la Zona Norte del Municipio de Ensenada (Región del Vino), Estado de Baja California. Gobierno Municipal de Ensenada, Gobierno Del Estado de Baja California, FONATUR, SECTUR, IMIP.
- Lattera, P., Jobbágy, E. G., Paruelo, J. M., Abdo, M., Achinelli, M. L., Alcaraz-Segura, D., & Zamora, J. P. (2015). Valoración de servicios ecosistémicos en Argentina <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>



- Leyva A., J. C., & Espejel C., M. I. (2013). *El valle de Guadalupe: Conjugando Tiempos*. Disponible en [http://webfc.ens.uabc.mx/documentos/El Valle de Guadalupe.pdf](http://webfc.ens.uabc.mx/documentos/El_Valle_de_Guadalupe.pdf)
- Liquete, C., Maes, J., Notte, A. La, & Bidoglio, G. (2012). Securing water as a resource for society: an ecosystem services perspective. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 11(3–4), 247–259
- Samuelson, P., & Nordhaus, W. (2006). *Economía*. Decimoctava edición. México, DF.
- Sánchez-Brito, I., Almendarez-Hernández, M. A., Morales-Zárate, M. V., & Salinas-Zavala, C. A. (2013). Valor de existencia del servicio ecosistémico hidrológico en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México. *Frontera Norte*, 25, 97–129.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (2017) Nueva Metodología para la Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano. SEDATU, SERMANT, Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit, GIZ. Disponible en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/263178/NuevaMetodologiaPMDU.pdf>
- Secretaría de Protección al Ambiente (2016). Programa Ambiental Estratégico de la región vitivinícola de Valle de Guadalupe, municipio de Ensenada, Baja California, México. Reporte técnico final. Gobierno del Estado de Baja California.
- Silva-Flores, R., Pérez-Verdín, G. & Návar-Cháidez, J.J. (2010). Valoración económica de los servicios ambientales en El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 16(1) pp. 31-49.
- Tosto, S., Belarmino, L., Romeiro, A., & Rodrigues, C. (2015). Valoração de serviços ecossistêmicos: metodologias e estudos de caso. Embrapa Monitoramento por Satélite-Livro científico (ALICE).
- World Water Assessment Program (2012). Marco para el monitoreo de las políticas hídricas. Nota informativa. Programa Mundial de Evaluación de los recursos hídricos, División de estadísticas de las Naciones Unidas. Disponible en [http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/WWAP\\_UNSD\\_WaterMF\\_S.pdf](http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/WWAP_UNSD_WaterMF_S.pdf)
- Zetina-Espinosa, A.M., Mora-Flores, J.S., Martínez-Damián, M.A., Cruz-Jiménez, J. & Téllez-Delgado, R. (2013). Valor económico del agua en el distrito de riego 044, Jilotepec, Estado de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo* (10) pp. 139-156.

# **ID-097: RIESGOS Y OPORTUNIDADES DEL ENFOQUE BASADO EN SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PARA LA CONSERVACIÓN: PERCEPCIONES DE LOS ACTORES LOCALES EN CHIAPAS**

Mariana PINEDA<sup>a</sup>, Paula NOVO<sup>b</sup>, M. Azahara MESA-JURADO<sup>c</sup>, Julia MARTIN-ORTEGA<sup>d</sup>

<sup>a</sup> El Colegio de la Frontera Sur, Villahermosa, Tabasco, México, email: [maariiaanaa128@gmail.com](mailto:maariiaanaa128@gmail.com);

<sup>b</sup> Scotland Rural College, Edimburgo, Reino Unido, email: [paula.novo@sruc.ac.uk](mailto:paula.novo@sruc.ac.uk)

<sup>c</sup> El Colegio de la Frontera Sur, Villahermosa, Tabasco, México, email: [mmesa@ecosur.mx](mailto:mmesa@ecosur.mx)

<sup>d</sup> Universidad de Leeds, Leeds, Reino Unido, email: [J.MartinOrtega@leeds.ac.uk](mailto:J.MartinOrtega@leeds.ac.uk)

## **RESUMEN**

Iniciativas internacionales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM) enfatizan la importancia de comprender el papel que desempeña la biodiversidad en la provisión de servicios ecosistémicos (SE) y sus efectos en el bienestar humano. Este reconocimiento ha llevado a la incorporación en política ambiental de los enfoques basados en SE (EBSE) que han sido ampliamente aceptados e incorporados en el diseño de políticas públicas a nivel global. No obstante, existe un debate, principalmente desde la academia, acerca de los riesgos relacionados con su implementación. La literatura sobre los aspectos teóricos de este debate es vasta, pero es poca la evidencia empírica sobre la experiencia y percepciones de los actores locales. Comprender esto es fundamental, ya que son los actores quienes, en última instancia, adoptan, transforman o rechazan estos enfoques. El objetivo de esta investigación fue explorar las opiniones de los profesionales ambientales locales en relación con los riesgos y oportunidades asociados con los EBSE. Para ello se seleccionó el estado de Chiapas, foco de diferentes políticas y programas de conservación y desarrollo orientados a los SE. Para explorar la percepción de los actores locales se llevó a cabo un taller en San Cristóbal de las Casas (2016) que contó con 25 participantes de instituciones académicas, gubernamentales y no gubernamentales. También se realizaron 15 entrevistas semiestructuradas con representantes de instituciones gubernamentales y no gubernamentales (nacionales e internacionales) con objetivos de desarrollo sostenible y conservación en Chiapas. Los entrevistados conceptualizaron los EBSE con un marcado carácter antropocéntrico y utilitario que promueve el reconocimiento, valoración y conservación de los bienes y servicios que proporciona la naturaleza mientras que permite su gestión para el beneficio humano. Para ellos, la conservación y el desarrollo social son temas inseparables, ya que, en los territorios de alta diversidad biológica, la mayoría de las comunidades dependen directamente de estos recursos para su subsistencia. Reconocen numerosas expectativas respecto a su aplicación, sin embargo, no se han cumplido en la implementación de programas hasta ahora. Principalmente, relacionan estos enfoques con los Programas de Pagos por Servicios Ambientales.

**Palabras clave:** percepciones sociales, gobernanza ambiental, toma de decisión, política pública, servicios ecosistémicos

## **1 INTRODUCCIÓN**

El concepto de servicios ecosistémicos se define como los beneficios que las personas obtienen como resultado de las funciones del ecosistema (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), considerándose imprescindibles para la satisfacción de las necesidades humanas (Braat & de Groot, 2012; Prip, 2018). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005) clasifica estos servicios del ecosistema en cuatro categorías: provisión, soporte, regulación y culturales; sin embargo, en los últimos años han surgido nuevas clasificaciones, que resaltan las diferencias entre servicios y bienes (Schröter et al., 2014), servicios y perjuicios (Dunn, 2010; von Döhren & Haase, 2015) e incluso se proponen nuevas conceptualizaciones como las contribuciones de la naturaleza a las personas (NCP) (Pascual et al., 2017). Desde su conceptualización a mediados de los años 60 y el trabajo seminal de Costanza et al. en 1997, la frecuencia de mención en publicaciones académicas no ha dejado de aumentar (De Groot, Wilson, & Boumans, 2002; Martin-Ortega, Jorda-Capdevila, Glenk, & Holstead, 2015a) y se ha utilizado como marco conceptual en iniciativas internacionales y en la legislación ambiental en algunos países (Schröter et al., 2014) como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD, 1992), la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA, 2005) y The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB, 2010).

El Enfoque basado en Servicios Ecosistémicos (EBSE) se entiende como una manera de comprender las complejas relaciones entre la naturaleza y el ser humano para apoyar la toma de decisiones con el objetivo de revertir el



declive del estado de los ecosistemas y asegurar el uso sustentable/manejo/conservación de los recursos (Martín-Ortega et al., 2015). En este contexto, las principales expectativas con respecto al ESBE han sido: fomentar la conservación y gestión de la biodiversidad desde una perspectiva sistémica que considere las complejas interacciones que ocurren en los ecosistemas y no solo en los recursos aislados (Paavola & Hubacek, 2013); reconectar a la sociedad con la naturaleza y generar argumentos para la conservación, basados en el reconocimiento de la utilidad de los ecosistemas y sus servicios para garantizar el bienestar humano (Costanza et al., 1997; Raymond et al., 2013). Asimismo, se ha resaltado que la necesidad de su valoración económica e inclusión en los mercados es una estrategia efectiva y necesaria para promover su conservación y ser considerada en la toma de decisiones (Costanza et al., 1997; De Lucia, 2018; Kumar et al., 2010). Así, el alcance de este enfoque ha sido reconocido globalmente y se ha ido adoptando como marco para la implementación de políticas públicas e instrumentos ambientales para la conservación y desarrollo (Dempsey & Robertson, 2012), tales como incentivos financieros, regulaciones legales e instrumentos económicos de mercado y no mercado (Hahn et al., 2015; Urgenson, Lauren S.; Prozesky, 2013).

Aunque estos instrumentos continúan siendo ampliamente aceptados en el diseño de políticas públicas a nivel global, se han evidenciado algunos problemas y riesgos de su implementación (Moore et al., 2017). Las voces críticas destacan su lógica antropocéntrica y su perspectiva económica de la biodiversidad (Turnhout, Waterton, Neves, & Buizer, 2013), que representa una relación unidireccional donde el flujo de servicios/recursos ocurre de la naturaleza a la sociedad (Raymond et al., 2013). También se ha cuestionado si este enfoque realmente contribuye a la conservación de la biodiversidad o, por el contrario, perpetúa los problemas (lógica económica) que han causado la pérdida de biodiversidad y desvía la atención e intereses hacia su valor económico, perdiendo de vista o dificultando que en la toma de decisiones, se consideren y prioricen otros valores y relaciones naturaleza-sociedad que no estén mediadas por un valor económico o utilitario (Kosoy & Corbera, 2010; Kronenberg, 2014; Turnhout et al., 2013). Otras críticas están relacionadas con consideraciones éticas (Luck et al., 2012), desigualdad en la distribución de beneficios dentro de las comunidades (Corbera, Brown, & Adger, 2007), restricciones institucionales para su implementación, la falta de claridad metodológica (Moore et al., 2017) y la falta de una teoría orientadora (Tallis, Goldman, Uhl, & Brosi, 2009).

Muchos de estos debates y argumentos a favor o en contra de la implementación de instrumentos y programas basados en el ESBE se han explorado teóricamente o a gran escala, pero aún existe una brecha en la comunicación entre académicos y tomadores de decisiones (Lithgow et al., 2017). A esto se suma la escasa evidencia empírica sobre las percepciones (valores) y las experiencias de los actores locales (Menzel & Teng, 2009) así como la necesidad de conocer estas experiencias para contribuir al diseño de instrumentos de políticas públicas adecuados a los contextos particulares (Cowling et al., 2008). En este sentido, el objetivo de este trabajo es explorar las opiniones locales en relación con los riesgos, las oportunidades y la percepción de cambios en las relaciones ser humano naturaleza, asociados con un enfoque basado en servicios ecosistémicos. Las preguntas que guiaron la investigación fueron ¿cómo se conceptualiza y utiliza el enfoque de servicios ecosistémicos?, ¿qué factores explican el éxito o el fracaso? y ¿cómo funciona el enfoque en las diferentes instituciones y organizaciones que lo implementan? Para ello se seleccionó el estado de Chiapas localizado en el sureste mexicano. El caso de estudio seleccionado fue considerado conveniente por ser un territorio de alta diversidad cultural y ecológica y foco de diferentes políticas y numerosos programas orientados a los servicios ecosistémicos.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Caso de estudio

A nivel mundial, México es considerado uno de los países megadiversos, ocupando el cuarto lugar del ranking ya que alberga entre el 10 y el 12% de las especies conocidas (Sarukhan et al., 2015). Gran parte de esta biodiversidad se encuentra en el estado de Chiapas, considerado uno de los *hotspots* de Mesoamérica (CONABIO, 2013). El 18.4% de su extensión territorial se encuentra bajo alguna categoría de área protegida, como la Reserva de la Biosfera Montes Azules, Reserva de la Biosfera El Triunfo, Parque Nacional Cañón del Sumidero, entre otras. En cuanto a la importancia del recurso hídrico, se identifican las regiones hidrológicas 30-Grijalva-Usumancinta y 23-Costa de Chiapas, de gran relevancia para el suministro de agua al país (CONABIO, 2013). Además de esta



complejidad biológica, Chiapas se caracteriza por su gran riqueza étnica y cultural, con un importante legado cultural que se mantiene en algunas de las prácticas de gestión y uso de la biodiversidad (González Espinoza et al. 2005). Debido a esta importancia biológica y cultural, desde la ratificación del Convenio sobre la Diversidad Biológica y la adopción de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, en Chiapas se han implementado políticas públicas con el objetivo de conservar y preservar los ecosistemas y sus servicios ecosistémicos y promover el desarrollo sostenible (Osborne & Shapiro-Garza, 2018). En su diseño e implementación, han participado instituciones gubernamentales, instituciones académicas, asociaciones civiles, instituciones no gubernamentales, el sector privado y organizaciones internacionales, así como los miembros de los municipios o localidades donde se han desarrollado los programas.

## **Metodología**

Para obtener la información necesaria para alcanzar el objetivo planteado, se llevó a cabo un taller en la ciudad de Cristóbal de las Casas, Chiapas, en septiembre de 2016 con una duración de ocho horas. Asistieron 25 participantes en representación de instituciones académicas, gubernamentales y no gubernamentales que operan en el estado de Chiapas con objetivos regionales de desarrollo y conservación. Durante el taller, titulado "El enfoque basado en servicios ecosistémicos: Perspectivas sobre los desafíos y las oportunidades para la conservación y el manejo de los recursos naturales", se abordaron los siguientes temas: 1) Motivaciones para la implementación y operación de la ESBE; 2) Desafíos y oportunidades del EBSE para las comunidades locales; 3) Mecanismos y gobernanza asociados con el ESBE para la conservación y gestión de los recursos naturales. Del mismo modo, se realizaron 15 entrevistas con representantes de instituciones gubernamentales y no gubernamentales (nacionales e internacionales) que persiguen objetivos de desarrollo sostenible y conservación en el estado de Chiapas. Además, se aplicaron 15 entrevistas semiestructuradas a diferentes actores (ONGs, gobierno y academia) con una duración aproximada de 60-90 minutos, organizadas en los siguientes temas: perfil y experiencia individual y de la institución representada, conocimiento sobre el concepto de servicios ecosistémicos, percepción de la relación entre las comunidades y la naturaleza y la experiencia (opinión, objetivos, motivaciones, forma de implementación, ejemplos) de la implementación de programas que adoptan el EBSE. Se tuvieron en cuenta instrumentos que resaltan el valor intrínseco o instrumental de la naturaleza, cambios institucionales, valoración económica, instrumentos económicos no de mercado, instrumentos de mercado económico e instrumentos financieros. Las entrevistas y el taller fueron grabados con el consentimiento informado de los asistentes y entrevistados.

Las grabaciones de los grupos focales y las entrevistas individuales fueron transcritas y analizadas cualitativamente utilizando el software Nvivo. Considerado uno de los procesos centrales de la Teoría Fundamentada, se realizó una codificación abierta, axial y selectiva (Bryman, 2001). Para la codificación abierta, se consideraron tanto los temas emergentes de los documentos primarios (LeCompte y Schensul, 2012) como las categorías establecidas a priori en un libro de códigos a partir de las preguntas del guion y los temas clave. Posteriormente, con la codificación axial, los códigos abiertos se reclasificaron y reestructuraron y se generaron categorías o subcategorías de ejes (Esterberg, 2002), comenzando desde códigos descriptivos hasta códigos conceptuales (LeCompte, 2013a). Con la codificación selectiva, se establecieron las principales categorías de análisis (categorías principales) y los vínculos causales entre estas categorías. (Bernard, 2006; LeCompte, 2013b). Finalmente, la información proporcionada por los entrevistados sobre los programas que utilizan el EBSE en Chiapas se trianguló a través de la revisión de bases de datos oficiales, regulaciones y directrices de los programas que operan en la región.

## **3 RESULTADOS**

### **Conocimiento sobre el enfoque**

Los entrevistados conceptualizaron el ESBE como un enfoque antropocéntrico y utilitario, de intervención territorial, que promueve el reconocimiento, la valoración y la conservación de los bienes y servicios que proporciona el medio ambiente, al tiempo que permite su gestión para el beneficio humano. Para ellos, la



conservación y el desarrollo social son cuestiones indisolubles, ya que, en los territorios de alta diversidad biológica, como el estado de Chiapas, muchas comunidades se encuentran ubicadas y dependen directamente de estos recursos naturales para asegurar su subsistencia. Por ello, reconocen la necesidad de estrategias de manejo y conservación, en las cuales los principales actores del manejo de los recursos naturales y la toma de decisiones para su conservación sean los habitantes de esos territorios.

Además, los entrevistados mencionaron que en las regiones donde hay contacto y dependencia directa de la naturaleza, ya existía ese reconocimiento de la importancia de la conservación de la naturaleza para el beneficio humano, y el concepto de servicios ecosistémicos solo ayuda a aclarar u homogeneizar todas las nociones, pero no trae nada nuevo. La mayoría coincidió en que la noción de servicio ecosistémico es un término en boga, un concepto que ha servido para resaltar la dependencia de los seres humanos de la biodiversidad y desarrollar estímulos económicos para su conservación. Entre las expectativas con respecto a la aplicación del EBSE destacan la posibilidad de promover la gestión multidisciplinaria e integral de los recursos desde una visión ecosistémica, obtener ingresos de la conservación de espacios sin competir con otros mercados o espacios, generar esquemas de compensación para quienes preservan la biodiversidad y hacer responsables de la conservación a aquellos que no viven en áreas conservadas.

### **Brechas entre la conceptualización y la implementación de ESBE**

Una de las mayores debilidades de la ESBE percibida por los entrevistados es la falta de una clara definición y diseño del marco conceptual o metodológico, lo que dificulta la aplicación de este enfoque en la toma de decisiones. Asimismo, aunque el enfoque promueve una visión sistémica y territorial, las experiencias solo se han desarrollado para determinados servicios ecosistémicos (principalmente madera y agua) o solo valoran las funciones ecosistémicas que representan un claro bienestar o uso para el ser humano. Aquellos que no representan un beneficio o son desconocidos se infravaloran o su conservación no se considera. Con respecto a los problemas de conocimiento y comunicación del enfoque, dado que los servicios de los ecosistemas suelen ser bienes intangibles, es difícil que todos los participantes comprendan el objetivo de los esquemas de Pagos por Servicios Ambientales. En el mercado de servicios ecosistémicos, a veces los propietarios del recurso no entienden con certeza qué se “comercializa”, y los compradores generalmente tienen dudas sobre los efectos que su compra tiene para la conservación o los beneficios económicos que ha generado en las comunidades. Además, en los PSA financiados con recursos gubernamentales (PES-like), si el significado del pago por los servicios del ecosistema no se entiende y se considera otro subsidio, la conservación a largo plazo (una vez finalizado el contrato) no está asegurada, de lo contrario, se pueden generar dependencias al subsidio para seguir conservando.

Otra brecha que se destaca es la desarticulación que existe entre el diseño de los programas y el territorio donde se implementan. Los entrevistados mencionaron que los esfuerzos para incorporar el EBSE responden a las agendas internacionales, y que a medida que se desarrollan discusiones y se establecen nuevos acuerdos internacionales, el marco regulatorio y los planes nacionales se adaptan para cumplir con estos objetivos globales y hacer posible el diseño y la implementación de nuevas políticas de conservación en las comunidades. Por lo tanto, los instrumentos generalmente persiguen objetivos globales, pero no consideran las realidades locales donde se desarrollarán.

### **Lógica Monetaria vs Lógica Ética**

Una de las principales críticas a EBSE se relacionó con el problema de que las compensaciones otorgadas o las valoraciones económicas de los ecosistemas no representan los valores reales que los servicios ecosistémicos generan; no son una retribución real y justa para aquellos que conservan la biodiversidad.

Además, algunos entrevistados identificaron que cuando la valoración de servicios ecosistémicos se reduce a un valor monetario, también es difícil cuantificar algunos servicios ambientales y determinar el valor económico de ciertos ecosistemas. Asimismo, los entrevistados reconocieron el riesgo de que, al realizar una valoración económica, podría considerarse que el daño a ese ecosistema puede compensarse pagando el valor monetario resultante de dicha valoración, cuando en realidad el daño es irreparable. O que los montos resultantes de la valoración económica son insignificantes en comparación con la contribución económica de otros sectores.



## Efectos de desplazamiento

Los entrevistados mencionaron que los instrumentos económicos a veces invisibilizan los valores ecológicos, intrínsecos o culturales atribuidos a la biodiversidad, reduciendo a un valor económico/monetario y haciendo posible la mercantilización de la naturaleza o generando un efecto de desplazamiento (crowding-out effect) en el que las personas solo realizan actividades de conservación cuando hay un pago.

Sin embargo, los entrevistados señalaron que estos cambios en la relación comunidad-naturaleza no son solo el resultado de la introducción del concepto de servicios ecosistémicos o la aplicación de instrumentos económicos. Si no también de otros fenómenos que ocurren en las comunidades, como la migración, la discriminación, la pobreza, la falta de alternativas productivas, la dependencia de los subsidios (no solo los PSA) y, en general, de los procesos de globalización y las políticas exteriores que impactan localmente.

Por otro lado, los entrevistados también mencionaron que la implementación de programas basados en el EBSE ha promovido el reconocimiento del valor económico y las posibilidades de obtener beneficios económicos a través de actividades de conservación, *“si es bueno o malo, eso dependerá de las personas. debe ser preguntado”*. En este sentido, las ONGs también mencionaron que se han generado cambios positivos en las actitudes hacia los ecosistemas. En relación con el PSA, las instituciones gubernamentales consideraron que el instrumento ha reforzado los comportamientos positivos hacia la naturaleza que ya existen. E incluso al final del pago, algunas comunidades han seguido conservando, ya que, como resultado de su participación en el programa, conciben nuevos valores para la conservación y tienen la expectativa de volver a participar.

Sobre las experiencias positivas, los entrevistados declararon que el mercado voluntario de carbono ha fomentado los vínculos entre los ejidos y ha promovido la diversificación productiva. A través del PSA, en ciertos contextos se ha fortalecido la gobernanza, se han establecido normas sobre el uso del territorio y los pagos se han utilizado para obras de beneficio común. La deforestación se ha detenido y se reconoce la importancia de hacerlo. Además, debido a las campañas de concientización y el trabajo de capacitación en las comunidades, las personas han tenido un mayor conocimiento y conciencia en temas ambientales globales. No obstante, también se mencionaron conflictos derivados de mecanismos de distribución de ingresos dentro de las comunidades o problemas en la dinámica familiar de los beneficiarios.

## Percepciones sobre las relaciones humano-naturaleza

Los entrevistados coincidieron en que es imposible homogeneizar las relaciones entre comunidades-naturaleza como una sola, ya que estas tienden a cambiar con el tiempo dependiendo de factores tales como actividades productivas, relación con otras comunidades e instituciones, posición geográfica, origen de la comunidad, territorio, identidad, usos y costumbres, entre otros. Asimismo, las diferentes formas de interacción entre comunidad y naturaleza pueden ocurrir en la misma localidad, pero en diferentes espacios o en la relación con ciertos recursos. A pesar de esta diversidad, los entrevistados identificaron algunos patrones o escenarios de relaciones humano-naturaleza que de alguna manera definen los resultados que los instrumentos de ESBE tienen en un determinado territorio y se resumen a continuación: a) personas sin conocimiento o desinterés por la naturaleza porque realizan actividades productivas que no dependen de la conservación de los ecosistemas; b) personas que desean una gestión sostenible del territorio debido al intercambio de experiencias con otras comunidades; c) personas que reconocen la importancia de la naturaleza pero siguen destruyéndola porque necesitan satisfacer necesidades básicas; d) personas que debido a un valor de uso, relacionado con la satisfacción de necesidades básicas, conservan ciertos recursos naturales, independientemente de si reciben o no fondos; e) personas que conservan la biodiversidad porque reconocen valores culturales o mágico-religiosos de la naturaleza y no solo valores de uso o económicos; f) las personas que conservan su territorio y obtienen ingresos económicos a través de la gestión del ecosistema y actividades no extractivas como el turismo. Por ejemplo, el hecho de que los participantes tengan una visión de interdependencia con la naturaleza, certeza sobre la propiedad de la tierra y sean nativos del lugar o hayan desarrollado una identidad territorial, ha promovido el interés de mantener sus territorios conservados y productivos, en contra de cuando no hay relación ni conocimiento del territorio.



## Restricciones y factores de éxito en la implementación de ESBE

Para los mercados voluntarios de carbono y los esquemas de PSA que existen en Chiapas, los entrevistados destacan que la falta de mercados consolidados y la dependencia del financiamiento nacional o internacional para su operación siguen siendo una de las principales debilidades.

Otro problema identificado por las ONGs es la falta de monitoreo en campo para verificar el cumplimiento de los compromisos adquiridos por los beneficiarios y los impactos en la conservación. Sin embargo, tanto en el taller como las ONG mencionaron que, desde las pautas de operación de los programas, no se reconoce la importancia del soporte técnico, ni el presupuesto asignado para ello, por el contrario: *“es el factor prescindible, o sea, si hay algún recorte, se quita esa parte y nada más se hace un subsidio, pero se quita la parte importante digamos, en término de desarrollo de procesos”*.

Asimismo, se mencionó que a veces el personal técnico no está capacitado para los contextos en los que se desarrollan los programas y dentro de las comunidades hay una falta de líderes con conocimiento técnico. Sumado a esto, los entrevistados de instituciones gubernamentales, identificaron que una barrera para la implementación efectiva es la ejecución discontinua, relacionada con cambios administrativos y recortes presupuestarios.

Por el contrario, los factores frecuentemente identificados como determinantes para la implementación efectiva de programas con EBSE son el fortalecimiento de la gobernanza y el reconocimiento de la opinión y las preocupaciones de las comunidades, el desarrollo de procesos participativos y fortalecimiento de las instituciones locales. También se mencionó que los servicios técnicos de calidad, el monitoreo de procesos, así como el establecimiento de compromisos claros entre los financiadores, los ejecutores y las comunidades, promueven el desempeño efectivo de los programas. Del mismo modo, la presencia institucional de diferentes sectores, el intercambio de experiencias, el financiamiento estratégico, constante y comparable con el costo de oportunidad de las alternativas productivas en el mismo territorio son otros factores de éxito.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El enfoque basado en servicios ecosistémicos resulta un concepto artificial, exógeno a actores locales. En el interior de las comunidades se concibe la relación/dependencia ser humano naturaleza bajo otras nociones. No obstante, el ESBE ha sido útil para promover instrumentos que integren la conservación con actividades productivas (Urgenson, Lauren S.; Prozesky, 2013) en vez de seguir promoviendo instrumentos prohibitivos o de conservación absoluta. Con la aplicación del enfoque se tiene la posibilidad de generar nuevos mercados a través de la conservación de la naturaleza y cubrir (parcialmente) una necesidad real de obtención e ingresos. No obstante, se reconoce la necesidad de poder diseñar lineamientos de los programas que permitan aproximaciones locales.

Uno de los mayores cuestionamientos al enfoque es que, aunque dentro de las expectativas de su aplicación está el reconectar a la sociedad con la naturaleza y generar argumentos para su conservación basados en el reconocimiento de la utilidad de los servicios ecosistémicos para asegurar el bienestar humano (Schröter et al., 2014); hay poco conocimiento, apropiación, aplicación del enfoque en medios urbanos. Aún no se involucra ni responsabiliza en la conservación a las personas que no mantienen una relación directa con los recursos naturales o no se generan mecanismos para hacerlo de una manera justa (más allá de compensaciones económicas que no representan el valor real de llevar a cabo actividades de conservación), tampoco se observa una interconexión entre los habitantes de las zonas altas y bajas de la cuenca. Para que esto resulte posible, es necesario que al menos una definición de servicios ecosistémicos y su importancia sea comprendida en los medios urbanos, pero consideramos que aún falta por avanzar en ese aspecto, por lo que una de las grandes expectativas del enfoque aún no se está cumpliendo.

Hay una dificultad para aplicar el ESBE en la toma de decisiones, en la teoría se asume este promueve el manejo sistémico y territorial (Paavola & Hubacek, 2013), pero aún no existe un diseño conceptual y un marco metodológico claro para su implementación. En el caso de estudio de Chiapas su aplicación y discusión se limita principalmente a dos instrumentos: valoración económica, mayoritariamente desde un enfoque teórico, y el pago de servicios ambientales.



Los resultados de la aplicación del EBSE no resultan positivos o negativos en todos los contextos. Es importante entender y tomar en cuenta las relaciones comunidad-naturaleza que existen previamente a la implementación del enfoque. Cuando existe una visión de interdependencia con la naturaleza, certeza de la propiedad de la tierra e identidad territorial se promueve un interés por la conservación de los servicios ecosistémicos. Contrario a cuando no hay ninguna relación o conocimiento previo del territorio, el EBSE puede reducirse a una valoración monetaria y promover efectos negativos.

Consideramos que estos resultados preliminares de nuestra investigación pueden contribuir a una mejora en el diseño e implementación de programas y políticas públicas para la conservación y gestión de recursos ambientales donde se pueda lograr un manejo sustentable de cuencas con una visión holística e integradora.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el programa Newton Advanced Fellowship 2015 de la British Academy y el Newton Fund (Applying ecosystem services-based approaches to water resource decision making: studying the risk of nature commodification in Mexico's last free-flowing river" – Usumacinta ROC - Award Reference: AF150190". Los autores agradecen a todos los entrevistados y participantes del taller, a los colegas de ECOSUR y personal de apoyo, especialmente al personal del Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad (LATSU) donde se desarrolló y planificó el proyecto.

## 6. LITERATURA CITADA

- Bernard, H. R. (2006). Research methods in anthropology. Qualitative and quantitative approaches. In *Altamira Press* (4th ed.). Lanham.
- Braat, L. C., & de Groot, R. (2012). The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, 1(1), 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.011>
- Bryman, A. (2001). Qualitative data analysis. In *Social Research Methods* (pp. 387–404). Inglaterra: Oxford
- CONABIO, C. N. para el C. y U. de la B. (2013). *Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. La biodiversidad de Chiapas: Un estudio de Estado*.
- Corbera, E., Brown, K., & Adger, N. W. (2007). The equity and legitimacy of markets for ecosystem services. *Development and Change*, 38(4), 587–613. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7660.2007.00425.x>
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Cowling, R. M., Egoh, B., Knight, A. T., O'Farrell, P. J., Reyers, B., Rouget, M., ... Wilhelm-Rechman, A. (2008). An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9483–9488. <https://doi.org/10.1073/pnas.0706559105>
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- De Lucia, V. (2018). A critical interrogation of the relation between the ecosystem approach and ecosystem services. *Review of European, Comparative and International Environmental Law*. <https://doi.org/10.1111/reel.12227>
- Dempsey, J., & Robertson, M. M. (2012). Ecosystem services: Tensions, impurities, and points of engagement within neoliberalism. *Progress in Human Geography*, 36(6), 758–779. <https://doi.org/10.1177/0309132512437076>
- Dunn, R. R. (2010). Global Mapping of Ecosystem Disservices: The Unspoken Reality that Nature Sometimes Kills us. *Biotropica*, 42(5), 555–557. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0340.F>
- Esterberg, K. (2002) Qualitative methods in social research. McGraw Hill, Boston.
- González Espinosa M., Ramírez Marcial N., Ruiz Montoya L. (coordinadores) 2005. Diversidad biológica en Chiapas. Plaza y Valdez 494 pp.



- Hahn, T., McDermott, C., Ituarte-Lima, C., Schultz, M., Green, T., & Tuvendal, M. (2015). Purposes and degrees of commodification: Economic instruments for biodiversity and ecosystem services need not rely on markets or monetary valuation. *Ecosystem Services*, 16(October 2010), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.10.012>
- Kosoy, N., & Corbera, E. (2010). Payments for ecosystem services as commodity fetishism. *Ecological Economics*, 69(6), 1228–1236. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.002>
- Kronenberg, J. (2014). What can the current debate on ecosystem services learn from the past? Lessons from economic ornithology. *Geoforum*, 55, 164–177. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2014.06.011>
- Kumar, P., Brondizio, E., Elmqvist, T., Gatzweiler, F., Gowdy, J., Groot, D. De, ... Sukhdev, P. (2010). Key Messages and Linkages with National and Local Policies. In *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations* (p. 32).
- LeCompte, M. (2013a). Creating preliminary results: putting parts together. In S. L. Schensul & M. LeCompte (Eds.), *Initiating ethnographic research: mixed a methods approach* (pp. 245–264). Lanham: Altamira Press.
- LeCompte, M. (2013b). Ways to begin analysis. In *Initiating ethnographic research: mixed a methods approach* (pp. 79–110).
- LeCompte, M., & Schensul, J. (2012). *Analisis and interpretation of etnographic data. A mixed methods approach* (Second Edi). Ethnographer's Toolkit.
- Lithgow, D., Martínez, M. L., Silva, R., Geneletti, D., Juan, B., Cerdán, C. R., ... Jermain, A. (2017). Ecosystem services to enhance coastal resilience in Mexico: The gap between the perceptions of decisions-makers and academics. *Journal of Coastal Research*, (77), 116–126.
- Luck, G. W., Chan, K. M. A., Eser, U., Gómez-baggethun, E., Matzdorf, B., Norton, B., ... Norton, B. (2012). Ethical Considerations in On-Ground Applications of the Ecosystem Services Concept. *BioScience*, 62(12), 1020–1029. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.12.4>
- Martin-Ortega, Julia, Jorda-Capdevila, D., Glenk, K., & Holstead, K. L. (2015). What defines ecosystem services-based approaches? In J.; Martin-Ortega, R. C. Ferrier, I. . Gordon, & S. Khan (Eds.), *Water Ecosystem Services: A Global Perspective (International Hydrology Series)* (1st ed., pp. 3–9). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316178904.003>
- Menzel, S., & Teng, J. (2009). Ecosystem Services as a Stakeholder-Driven Concept for Conservation Science. *Conservation Biology*, 24(3), 907–909. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01347.x>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington DC: Island Press. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.003>
- Moore, D. W., Booth, P., Alix, A., Apitz, S. E., Forrow, D., Huber-Sannwald, E., & Jayasundara, N. (2017). Application of ecosystem services in natural resource management decision making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13(1), 74–84. <https://doi.org/10.1002/ieam.1838>
- Osborne, T., & Shapiro-Garza, E. (2018). Embedding Carbon Markets: Complicating Commodification of Ecosystem Services in Mexico's Forests. *Annals of the American Association of Geographers*, 108(1), 88–105. <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1343657>
- Paavola, J., & Hubacek, K. (2013). Ecosystem Services , Governance , and Stakeholder Participation : an Introdcution. *Ecology and Society*, 18(4).
- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., ... Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26–27, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
- Prip, C. (2018). The Convention on Biological Diversity as a legal framework for safeguarding ecosystem services. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.015>
- Raymond, C. M., Singh, G. G., Benessaiah, K., Bernhardt, J. R., Levine, J., Nelson, H., ... Chan, K. M. A. (2013). Ecosystem Services and Beyond: Using Multiple Metaphors to Understand Human–Environment Relationships. *BioScience*, 63(7), 536–546. <https://doi.org/10.1525/bio.2013.63.7.7>
- Sarukhan, J., Urquiza-Haas, T., Koleff, P., Carabias, J., Dirzo, R., Ezcurra, E., ... Soberon, J. (2015). Strategic actions to value, conserve, and restore the natural capital of megadi versity countries: The case of Mexico. *BioScience*, 65(2), 164–173. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu195>
- Schröter, M., van der Zanden, E. H., van Oudenhoven, A. P. E., Remme, R. P., Serna-Chavez, H. M., de Groot,

- R. S., & Opdam, P. (2014). Ecosystem Services as a Contested Concept: A Synthesis of Critique and Counter-Arguments. *Conservation Letters*, 7(6), 514–523. <https://doi.org/10.1111/conl.12091>
- Tallis, H., Goldman, R., Uhl, M., & Brosi, B. (2009). Integrating conservation and development in the field: Implementing ecosystem service projects. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 12–20. <https://doi.org/10.1890/080012>
- Turnhout, E., Waterton, C., Neves, K., & Buizer, M. (2013). Rethinking biodiversity: From goods and services to ‘living with’. *Conservation Letters*, 6(3), 154–161. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00307.x>
- Urgenson, Lauren S.; Prozesky, H. E. . (2013). Stakeholder Perceptions of an Ecosystem Services Approach to Clearing Invasive Alien Plants on Private Land. *Ecology and Society*, 18(1). <https://doi.org/10.5751/ES-05259-180126>
- von Döhren, P., & Haase, D. (2015). Ecosystem disservices research: A review of the state of the art with a focus on cities. *Ecological Indicators*, 52, 490–497. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2014.12.027>



## **ID-104: SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA CUENCA USUMACINTA: IMPORTANCIA SOCIAL Y ECONÓMICA**

Vera Camacho-Valdez<sup>1</sup>, Andrea Saenz-Arroyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CONACYT- El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Periférico Sur s/n, Colonia María Auxiliadora, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México

<sup>2</sup>El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México

### **RESUMEN**

La cuenca del río Usumacinta es considerada uno de los territorios con la más alta diversidad biológica y cultural. A pesar de que actualmente hay un reconocimiento de la importancia ecológica y cultural de esta cuenca, los ecosistemas que la constituyen están bajo una fuerte presión antropogénica. Lo anterior ha dado como resultado la destrucción o modificación sustancial de los ecosistemas, lo cual, debilita el funcionamiento y por consecuencia amenaza la capacidad de los ecosistemas para suministrar servicios ecosistémicos a las poblaciones de la región. En parte, como respuesta a esta situación, es necesario que la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos asociados no sean tratados como bienes inagotables, y su verdadero valor para la sociedad sean tomados en cuenta de una manera adecuada en la toma de decisiones. En este sentido, el objetivo de esta investigación fue por un lado describir de forma cualitativa y participativa los servicios ecosistémicos que constituyen la cuenca; y por el otro, analizar espacialmente los ecosistemas y conjuntamente con la aplicación del método de transferencia de valores, estimar valores de referencias de los servicios ecosistémicos que de ellos se derivan. Los resultados indican que las poblaciones rurales que habitan en esta zona dependen fuertemente de los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento para su subsistencia. Se determinó además que los ecosistemas de la zona aportan un valor económico que asciende a más de \$23,000 millones de dólares anuales.

### **1. INTRODUCCIÓN**

En gran parte del mundo la conversión y modificación de los ecosistemas que constituyen las cuencas hidrológicas ha ido en aumento con su respectiva degradación en la provisión de servicios ecosistémicos. Como respuesta a esta situación de degradación y reconociendo el vínculo que existe entre el medio ambiente y el bienestar de la sociedad, el estudio de los servicios ecosistémicos y su transformación se reconoce cada vez más como una valiosa herramienta que facilita la toma de decisiones sobre el capital natural (TEEB en Policy 2011).

La importancia que tienen los ecosistemas con respecto a la sociedad humana puede verse desde muchas dimensiones: ecológicas, socioculturales y económicas. Expresar el valor de los servicios ecosistémicos en

unidades monetarias es una herramienta importante para dar a conocer y transmitir la importancia de los ecosistemas y la biodiversidad a los tomadores de decisiones. La información con respecto a los valores monetarios permite un uso más eficiente de los recursos a través de la identificación de áreas en donde la protección o restauración es económicamente más viable (Crossman y Bryan 2009; Crossman et al. 2011). Adicionalmente las preferencias socioculturales hacia los servicios ecosistémicos desde la perspectiva de los valores, actitudes y creencias humanas utilizando un enfoque no económico nos ofrece una visión sobre las motivaciones para conservar los servicios ecosistémicos, que son frecuentemente desapercibidas en valoraciones monetarias (Otero-Rosas et al., 2014).

De manera complementaria al análisis económico, en los últimos años se ha introducido el análisis espacial como herramienta para representar el valor económico de los servicios ecosistémicos. Información basada en mapas ha sido utilizada para analizar la distribución espacial de múltiples servicios ecosistémicos a escalas locales (Naidoo y Adamowicz 2006; Nelson et al. 2008; Lautenbach et al. 2011; Lavorel y Grigulis 2012), regionales (Chan et al. 2006) y globales (Naidoo et al. 2008; Luck et al. 2009). De hecho, la naturaleza variable en el espacio de la generación de los servicios ecosistémicos y los flujos de valor hace que la representación en mapas para efectos de planificación esté siendo más importante y se considere una de las principales herramientas para la toma de decisiones en cuanto a la planeación ambiental.

A pesar de que actualmente hay un reconocimiento de la importancia ecológica y cultural de la cuenca del río Usumacinta, los ecosistemas que la constituyen están bajo una fuerte presión antropogénica, resultado de las actividades humanas que conllevan cambios en el uso del suelo, como la conversión de humedales a tierras de cultivo, ganadería y zonas urbanas; la deforestación de los bosques; y la utilización de los recursos del subsuelo como los yacimientos de petróleo. Lo anterior ha dado como resultado la destrucción o modificación sustancial de los ecosistemas y una pérdida de biodiversidad, la cual, debilita el funcionamiento y por consecuencia amenaza la capacidad de los ecosistemas para suministrar servicios ecosistémicos a las poblaciones de la región.

Como una primera aproximación en la evaluación de los servicios ecosistémicos proporcionados por esta gran cuenca, el objetivo de este trabajo fue por un lado describir de forma cualitativa y participativa los servicios ecosistémicos que constituyen la cuenca; y por el otro, tomando ventaja del uso de la percepción remota y los sistemas de información geográfica (SIG), analizar espacialmente los ecosistemas y conjuntamente con la aplicación del método de transferencia de valores, estimar valores de referencias de los servicios ecosistémicos que de ellos se derivan.

### 1.1. Área de estudio

De todas las cuencas fronterizas, la del río Usumacinta tiene una impresionante red hidrológica por estar en una de las regiones con los más altos niveles de precipitación de toda Mesoamérica y por poseer un relieve complejo, sobre todo en las partes altas y medias en México, así como en las cabeceras en los Altos de Guatemala (March y



Castro 2010). En este contexto, la cuenca del río Usumacinta es considerada uno de los territorios con la más alta diversidad biológica y cultural (Toledo 2003). Las funciones ecológicas que se llevan a cabo en esta cuenca, se mantienen a través de una diversidad de ecosistemas, entre los que destacan, ríos, sistemas lagunares, extensos bosques de manglar, masas forestales selváticas y boscosas, y recursos marinos de la plataforma continental. Estos ecosistemas son igualmente relevantes a nivel social, ya que, proporcionan servicios ecosistémicos a las comunidades de esta región, muchos de los cuales son fundamentales no solo para el bienestar de las poblaciones que habitan la cuenca, sino para México y el Mundo. Entre otros, cabe mencionar, los pulsos de inundación que bañan la zona del delta del río Usumacinta y Grijalva proporcionando los nutrientes necesarios para una ganadería extensiva comercial y de subsistencia, para agricultura y pesca de subsistencia; los volúmenes de carbono capturado en las masas forestales y la captación y aportación de agua y nutrientes a las tierras del norte de Chiapas y Tabasco (zona focal costa), así como a las zonas estuarinas y oceánicas de importancia para las pesquerías en la costa del Golfo de México (March y Castro 2010).

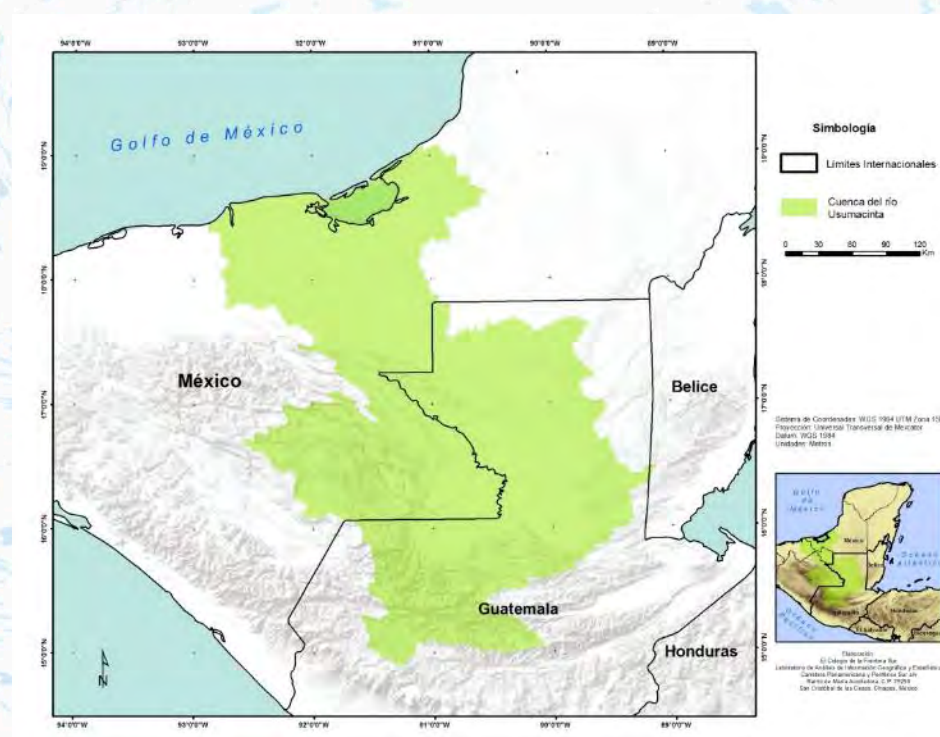


Figura 1. Área de estudio. Cuenca del río Usumacinta, sur de México.

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Clasificación de las coberturas

Los datos utilizados para identificar la distribución de los tipos de coberturas y usos de suelo presentes en la cuenca, se obtuvieron a través de imágenes de satélite del sensor Landsat 8 OLI adquiridas en mayo del 2013. Estas imágenes disponen de lecturas de once canales o bandas, situadas en distintas zonas del espectro

electromagnético y tienen una resolución de 30 metros. Los programas Idrisi Selva y ArcGis 10 se utilizaron para la clasificación de las imágenes, el desarrollo del SIG y para producir el mapa de los tipos de cobertura.

La clasificación digital se realizó utilizando el método supervisado, el cual utilizó los campos de entrenamiento previamente digitalizados con el fin de extraer una firma espectral de cada una de las clases seleccionadas (Campbell 1996). Estas firmas nos sirvieron de patrón para que a través de un algoritmo de clasificación se clasificara el resto de los píxeles de la imagen. El algoritmo de clasificación utilizado fue el de Máxima Verosimilitud disponible en el programa Idrisi Selva, el cual separa las clases con base en una función de densidad de probabilidad, asociada a la firma correspondiente a un campo de entrenamiento en particular. Los píxeles se asignan a la clase donde la probabilidad de pertenencia es mayor, dada la información específica de las firmas consideradas. Este método no solo considera los valores promedio, sino también la variabilidad de los valores de brillantez en cada clase (Campbell 1996).

## 2.2. Definición de los servicios ecosistémicos y meta-análisis de la literatura de valoración

Los servicios ecosistémicos derivados de cada tipo de cobertura se identificaron sobre la base de referencias de estudios empíricos, principalmente a partir de la base de datos proporcionadas por Ghermandi et al. (2010). Para seleccionar los estudios de la base de datos original e ir generando nuestra base de datos para las coberturas presentes en la cuenca del río Usumacinta se desarrollaron distintos criterios. El primero de estos criterios fue seleccionar únicamente los ecosistemas que estuvieran presentes en nuestro caso de estudio. El segundo, la literatura incluida en el análisis consistió en publicaciones, libros y reportes. Adicionalmente, se incluyeron en la base de datos únicamente estudios primarios; estudios en donde se utilizara el método de transferencia de valores no fueron considerados.

Para permitir comparaciones entre los valores de los humedales que han sido calculados en diferentes años y expresados en diferentes monedas y medidas los datos se estandarizaron a una medida y moneda común (2007\$/ha/año).

## 2.3. Valoración de los servicios ecosistémicos

Se aplicó el método de transferencia de valores con el objetivo de predecir los valores de los servicios ecosistémicos asociados a cada tipo de cobertura previamente definida en la tipología. La transferencia de valores implica simplemente transferir el valor (es) estimado (s) en uno o más estudios primarios (bases de datos) al sitio de interés. Como se recomienda en la literatura, todos los resultados presentados representan la media estadística derivada de las estimaciones individuales del valor de los servicios ecosistémicos de la base de datos generada, expresados en dólares por hectárea por año (Eade y Moran 1996; Costanza et al. 1997; Wilson et al. 2004).



## Valor económico total

Una vez que el mapa temático de las coberturas se diseñó, a cada tipo de ecosistema se le asignó un valor derivado del método de transferencia de valores, permitiendo que los valores de los servicios ecosistémicos fueran representados por tipo de servicio y ecosistema.

El valor total de los servicios ecosistémicos representados para cada tipo de cobertura se obtuvo multiplicando el valor estimado del área (ha) de cada clase de ecosistema por el coeficiente de valor (\$/ha/año) para cada servicio ecosistémico asociado a cada entidad.

### 2.4. Percepción social de los servicios ecosistémicos

Se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas para que los habitantes de cuatro comunidades representativas pudieran describir cómo se interconecta la calidad de los ecosistemas de la cuenca del río Usumacinta con los beneficios que reciben las comunidades de dichos ecosistemas. Estas entrevistas se realizaron entre octubre de 2014 y marzo de 2015. Se diseñaron siguiendo trayectorias temáticas que se cubrieron durante el curso de la entrevista, en lugar de una secuencia de comandos de preguntas estandarizadas. De esta forma, las entrevistas semiestructuradas nos permitieron una comunicación enfocada, conversacional y bidireccional (Meli et al. 2015). Así mismo, en el transcurso de cada entrevista, los entrevistadores emplearon el método de “mapeo cognitivo” para desarrollar en papel, mapas cognitivos de las perspectivas individuales de cada uno de los entrevistados. En la aplicación de las entrevistas, tuvimos cuidado de tener una buena representación de las edades, el género, los niveles educativos y los sectores sociales. Las 40 entrevistas fueron grabadas digitalmente y transcritas.

### 2.5. Análisis espacial

Las estimaciones de valor se representaron espacialmente en la cuenca del río Usumacinta mostrando el flujo anual de los servicios ecosistémicos proporcionados por cada tipo de cobertura. Los análisis y los mapas se generaron con el programa ArcGis 10, utilizando los mapas temáticos previamente diseñados.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Clasificación de los ecosistemas

El proceso de clasificación para las escenas Landsat se llevó a cabo en un polígono con un área de aproximadamente 4,648,778 ha. Dicho proceso dio lugar a diez clases informacionales que corresponden a áreas urbanas, agricultura, carreteras, cinco clases de humedales (laguna costera, manglar, fluvial, palustre y lacustre) y bosques (bosque templado y bosque tropical (Figura 2). La estructura espacial de los tipos de coberturas y usos de suelo fue aceptada después de un proceso de validación basado en puntos de referencia, alcanzando una exactitud global de 86 % y un índice de K' de 0.85, lo cual, demuestra estadísticamente que la clasificación obtenida es mejor que una producida al azar.

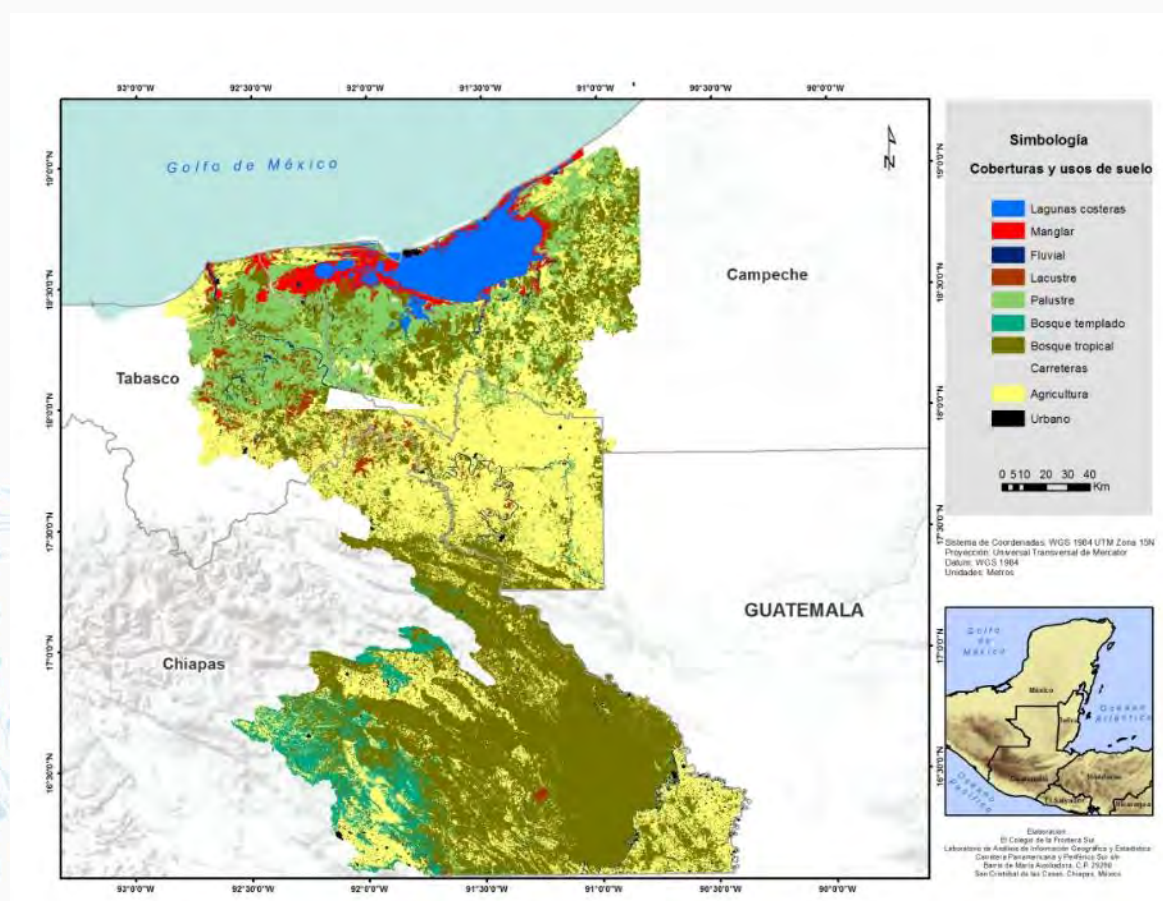


FIGURA 2. Clasificación de coberturas y usos de suelo presentes en la cuenca del río Usumacinta.

De los humedales, los palustres fueron los mejor representados, cubriendo el 13% de la superficie total del área de estudio, mientras que, en los bosques y usos de suelo, fue el bosque tropical y agricultura con 1,871,072 ha (40%) y 1,500,520 ha (32%), respectivamente. Después de los sistemas palustres, las lagunas costeras fueron los humedales más importantes en términos de cobertura (207,891ha), representando el 23% de la superficie de humedales. Los manglares, sistemas lacustres, bosques templados y sistemas fluviales presentaron menores superficies (Tabla 1).

TABLA 1. Clases de coberturas y usos de suelo en la cuenca del río Usumacinta obtenidas mediante la clasificación de imágenes Landsat y digitalización de datos auxiliares.

ID	Clase	Descripción	Área	
			ha	%
1	Lagunas costeras	Humedales estuarinos submareales	207,891	4



2	Manglar	Humedales estuarinos intermareales conformados por la asociación de especies de mangle	101,969	2
3	Fluvial	Humedales continentales fluviales permanentes y estacionales: ríos y canales	44,654	1
5	Palustre	Humedales continentales palustres: pantano, tular, popal, llanura inundada	591,989	13
4	Lacustre	Humedales continentales lacustres permanentes y estacionales: lago, charca, cuerpo de agua	64,515	1
6	Bosque tropical	Selva alta, media y baja perennifolia	1,871,072	40
7	Bosque templado	Bosque de encino y pino	208,419	4
8	Agricultura	Coberturas inducidas: agrícola, pecuario y pastizal	1,500,520	32
9	Urbano	Áreas urbanas: poblados, ciudades, etc.	45,272	1
10	Carreteras	Caminos, terracería, vías de comunicación federales y estatales	12,478	0

### 3.2. Valoración de los servicios ecosistémicos en la cuenca del río Usumacinta

Después de realizar el análisis de los datos, se aplicó el método de transferencia de valores para predecir los valores de los servicios ecosistémicos asociados a cada tipo de ecosistema en la zona de estudio. Los resultados muestran que el sistema fluvial es la cobertura con el valor promedio anual más alto con \$56,122 dólares por hectárea por año. Este valor se debe a la contribución del servicio ecosistémico protección contra inundaciones y tormentas. El manglar, el sistema palustre y lacustre también contribuyen significativamente al análisis de valoración con un promedio de \$12,470, \$24,035 y \$8,533 dólares por hectárea por año, respectivamente. Las lagunas costeras son los humedales con el menor valor promedio con \$4,755 dólares por hectárea por año (tabla 2).

Los valores totales de los servicios ecosistémicos revelan una considerable variabilidad (Tabla 2).

Protección contra inundaciones y tormentas es el servicio ambiental con el valor más alto (\$ 42,436 dólares por hectárea por año), seguido del de actividades recreacionales y biodiversidad (\$15,880 y \$14,156 dólares por hectárea por año,

respectivamente). En general, los servicios de regulación y los culturales son los más valorados en la base de datos adaptada.

TABLA 2. Valor anual (2007\$/ha/año) de los servicios ecosistémicos por cada tipo de cobertura.

		Mangl ar	Laguna costera	Fluvi al	Palustr e	Lacust re	B. tropical 1	B. templad o	Valor/ SE
Servicios de aprovisionamiento		3,972	790	7,464	5,346	899	337	932	19,740
Soporte de pesquería		2,826	326	5,187	637	868			9,844
Alimento							242	597	839
Abastecimiento de agua		683	3	1,382	1,217	24	27	333	3,669
Cosecha de materiales naturales		250	461	715	3,353	8	67	2	4,856
Combustible		212		180	26				418
Recurso ornamental					114				114
Servicios de regulación		2,225	130	39,669	6,247	23	348	318	48,960
Calidad del aire							12		12
Control del clima		7					207	220	434
Protección contra inundaciones y tormentas		2,218	130	37,694	2,371	23	92		42,528



Mejoramiento de la calidad del agua			1,975	3,876		8		5,859
Fertilidad del suelo						5	93	98
Prevención de erosión						19	5	24
Polinización						6		6
Servicios de soporte	5,773	0	3,837	208	4,369	24	862	15,073
Patrimonio genético				31		13		44
Biodiversidad	5,773		3,837	177	4,369	11	862	15,029
Servicios culturales	501	3,835	5,152	12,235	3,241	160	10,027	35,151
Paisaje y vista escénica		460	3,291		1,295			5,046
Actividades recreacionales	472	151	1,202	12,198	1,857			15,880
Pesca y caza recreacional	28	3,224	658	37	89	160	10,027	14,223
Valor anual	12,470	4,755	56,122	24,035	8,533	869	12,138	237,847

El flujo anual del valor de los servicios ecosistémicos por cada tipo de cobertura, derivado de cada valor de servicio ecosistémico por el área del tipo de cobertura correspondiente (Tabla 3), nos da un total de más de \$23,000 millones de dólares por año. De todas las coberturas incluidas en el análisis, el sistema palustre es el que aporta el mayor flujo anual (\$14,228 millones de dólares por año), debido a su alta representación en términos de cobertura con respecto al área total de la zona de estudio (13%) y a su valor significativamente alto (\$24,035 dólares por hectárea por año). Los sistemas estuarinos (lagunas costeras y manglar) junto con el fluvial tienen una aportación importante al valor económico total con alrededor de \$4,766 millones de dólares por año, mientras que el sistema lacustre, es

la clase que menor aportación tiene al total (\$550 millones de dólares por año). Los bosques (templado y tropical) tienen una aportación importante al flujo total con \$4,155 millones de dólares por año.

TABLA 3. Flujo anual (2007\$/ha/año) de los servicios ecosistémicos por cada tipo de cobertura.

Clase	Valor anual de los SE (2007\$/ha/año)	Área (ha)	Flujo anual (2007\$/año)
Laguna costera	4,755	207,891	988,519,565
Manglar	12,470	101,969	1,271,547,943
Fluvial	56,122	44,654	2,506,074,033
Palustre	24,035	591,989	14,228,443,598
Lacustre	8,533	64,515	550,504,703
Bosque tropical	869	1,871,072	1,625,961,733
Bosque templado	12,138	208,419	2,529,784,724
Total		3,090,507	23,700,836,299

### 3.3. Importancia de los servicios ecosistémicos para los modos de vida comunitarios

El análisis de las entrevistas semiestructuradas nos permitió identificar la dependencia de la población local respecto a los ecosistemas a través de la provisión de servicios ecosistémicos. Todos los encuestados eran adultos (> 18 años) cuya edad y antigüedad promedio en la comunidad fueron 52 (rango entre 28 y 82 años) y 32 años, respectivamente; El 57.5% eran hombres y el 42.5% mujeres.

Los servicios ecosistémicos que se identificaron con mayor frecuencia en la cuenca del río Usumacinta fueron la pesca 87%, el uso de materiales forestales tanto para combustible (67%) como para construcción (51%), el uso del río como vía de transporte (67%) y el consumo agua del río para uso doméstico y/o hidratación (54%) (Figura 3). Dentro de los servicios ecosistémicos de regulación la gente de la localidad reconoce que el río “regula la salinidad”, principalmente en las comunidades pegadas a la costa como Tembladeras y Boca Chica (Figura 3).



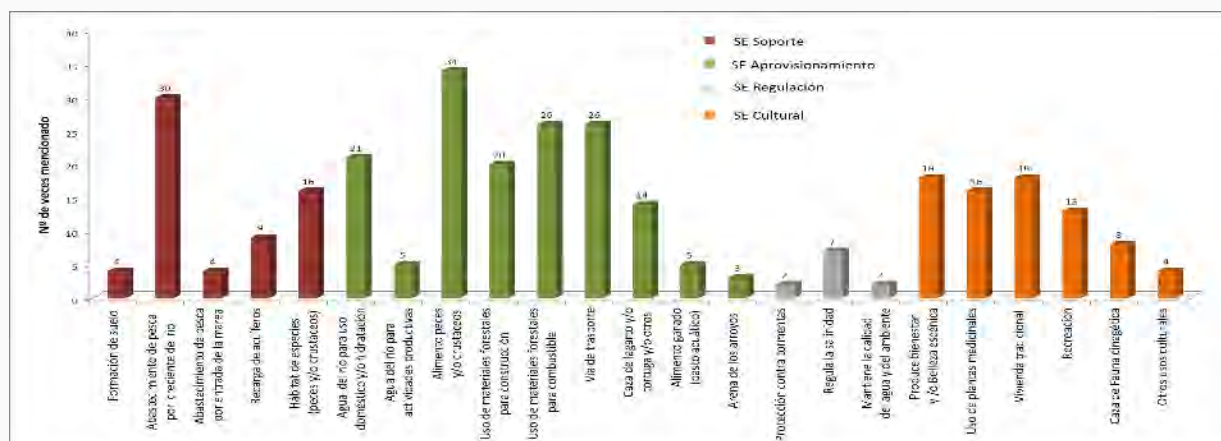


Figura 3. Frecuencia de aparición de los servicios ecosistémicos en la zona de estudio (cuatro comunidades, 40 entrevistas).

Las actividades humanas con mayor frecuencia de aparición, con un porcentaje igual o mayor al 50% en el total de las cuarenta entrevistas realizadas, fueron, según su orden de importancia: pesca (82%), manejo de animales de traspatio (79%) y manejo de milpa (maíz) y/o parcela (56%). Otra actividad recurrente en las comunidades es la plantación de frutales y/o hortalizas en el traspatio (46%) (Figura 4). De estas actividades solo la pesca se convierte en capital financiero o ingresos. La segunda fuente de ingresos mayor en la zona son los subsidios gubernamentales expresados en el pago de jornales y oficios que tienen algunos habitantes que migran a las zonas urbanas para ejercerlos como la albañilería.

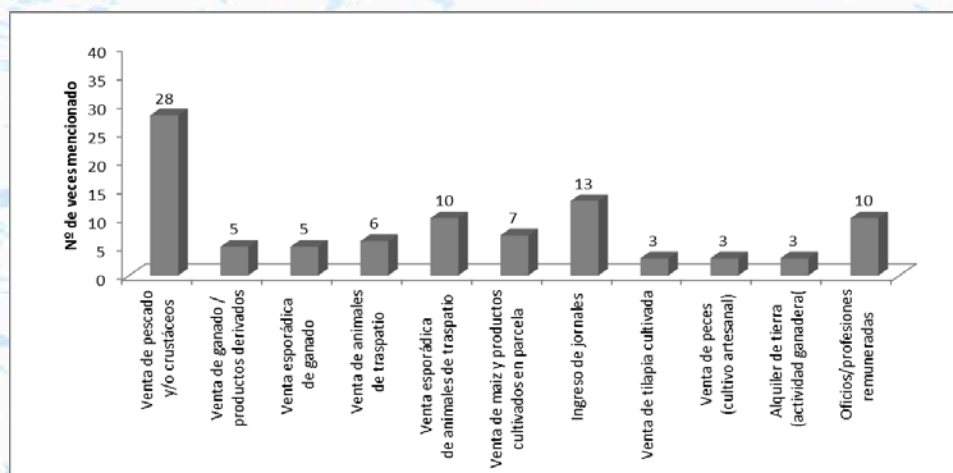


Figura 4. Frecuencia de aparición del Capital Económico en la zona de estudio (cuatro comunidades, 40 entrevistas).

La mayor parte de los ingresos que se obtienen por las fuentes arriba descritas se gastan en salud privada (92%), seguido de la compra de alimentos manufacturados (35-89%) y garrafones de agua (82%) (Figura 5)

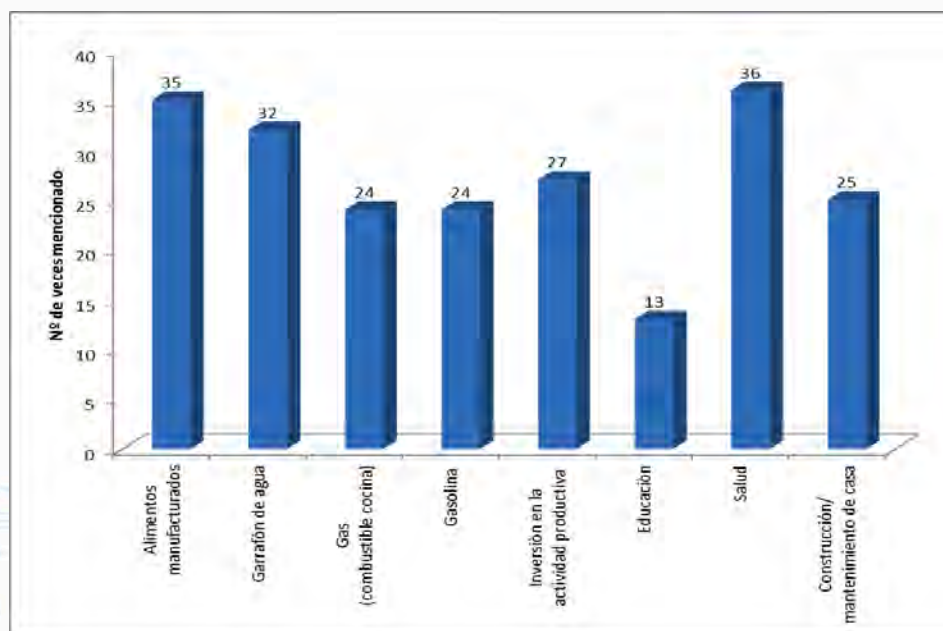


Figura 5. Frecuencia de aparición de Bienes externos y Gastos de Ingresos en la zona de estudio (cuatro comunidades, 40 entrevistas).

Las amenazas relacionadas con los ciclos hidrológicos alterados del río Usumacinta que percibe la gente, son las inundaciones provocadas por una creciente no natural del río (85%), contaminación del agua por residuos sólidos-líquidos (27-69%) y sequías (49%) (Figura 6).

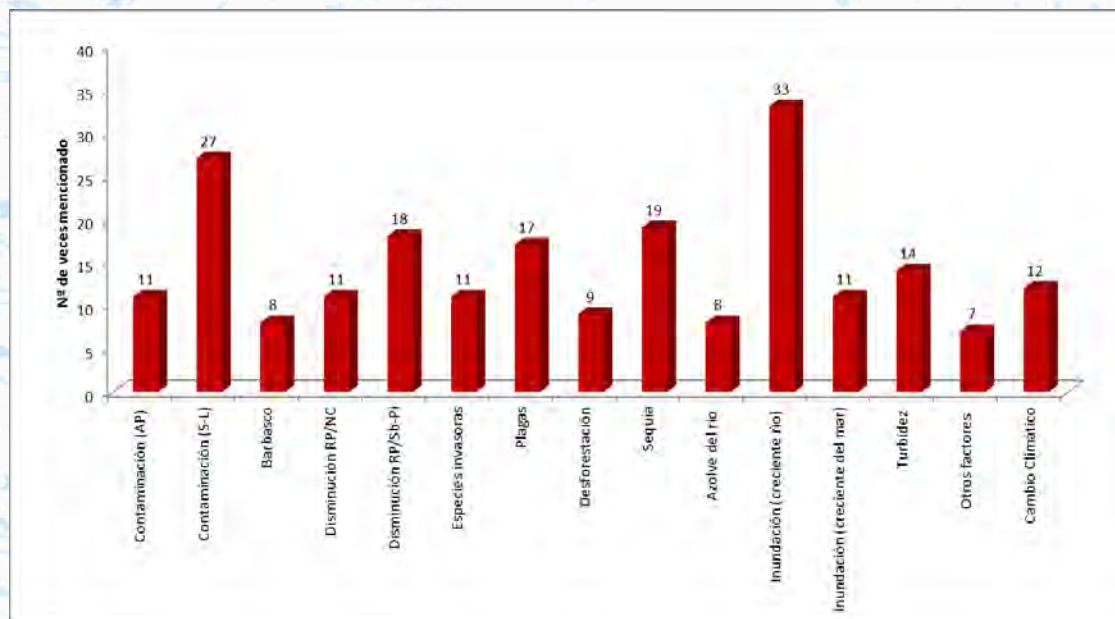


Figura 6. Frecuencia de aparición de las amenazas a las actividades productivas y vida en la comunidad en la zona de estudio (cuatro comunidades, 40 entrevistas). Contaminación (AP): Actividades petroleras como fuente de contaminación. Contaminación (S-L): Contaminación por residuos sólidos-líquidos. Disminución RP/NC:



Disminución en la captura de recursos pesqueros (no mencionan causa específica). Disminución RP/Sb-Pi: Disminución en la captura de recursos pesqueros por sobrepesca o pesca ilegal.

Finalmente, la falta de empoderamiento ciudadano y el efecto de los programas asistencialistas se refleja en las medidas para paliar las amenazas mencionadas con mayor frecuencia. Entre ellas sobresalen la demanda de programa gubernamentales (79%), seguidas del conocimiento de la normativa ecológica (67%), acciones comunitarias que amortiguan daños de la inundación (67%) y tratamiento de residuos domésticos (56%) (Figura 7).

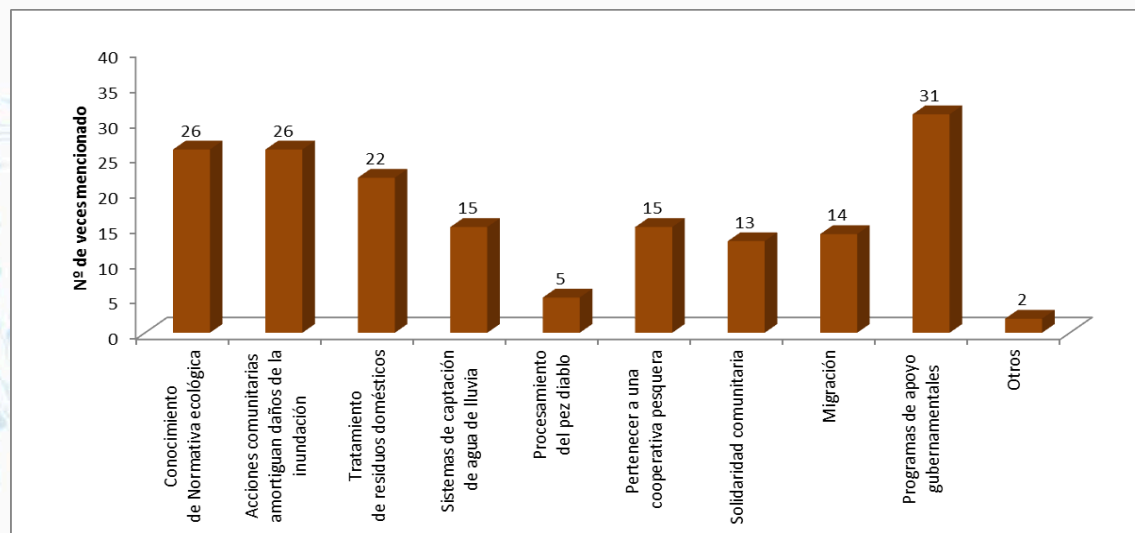


Figura 7. Frecuencia de aparición de las medidas para paliar las amenazas en la zona de estudio (cuatro comunidades, 40 entrevistas).

### 3.4. Análisis espacial del flujo de valor de los servicios ecosistémicos

Una vez obtenido el flujo anual del valor de los servicios ecosistémicos por cada tipo de cobertura, se diseñó un mapa ilustrando la distribución espacial de dichos flujos en la cuenca del río Usumacinta. Para fines de representación estos flujos fueron agregados cada cuenca (Figura 8). De manera general, este mapa muestra cierto grado de heterogeneidad en la distribución espacial de los valores, en donde los valores más altos se concentran en la zona focal costa, principalmente en la zona de pantanos (sistemas palustres) y zonas lagunares (Laguna de Términos); las agregaciones con menor valor se ubican en la zona focal lagunas, en donde ha habido un cambio de uso de suelo de los ecosistemas naturales a agricultura como una de las principales actividades en esta región. Sin embargo, en la zona focal selva en la parte oeste de la cuenca se presentan también valores significativamente altos. La parte más representativa a nivel espacial es la zona de pantanos o humedales palustres, los cuales además de ser importantes en términos superficies también los son en términos de suministro de servicios ecosistémicos y de valor económico.

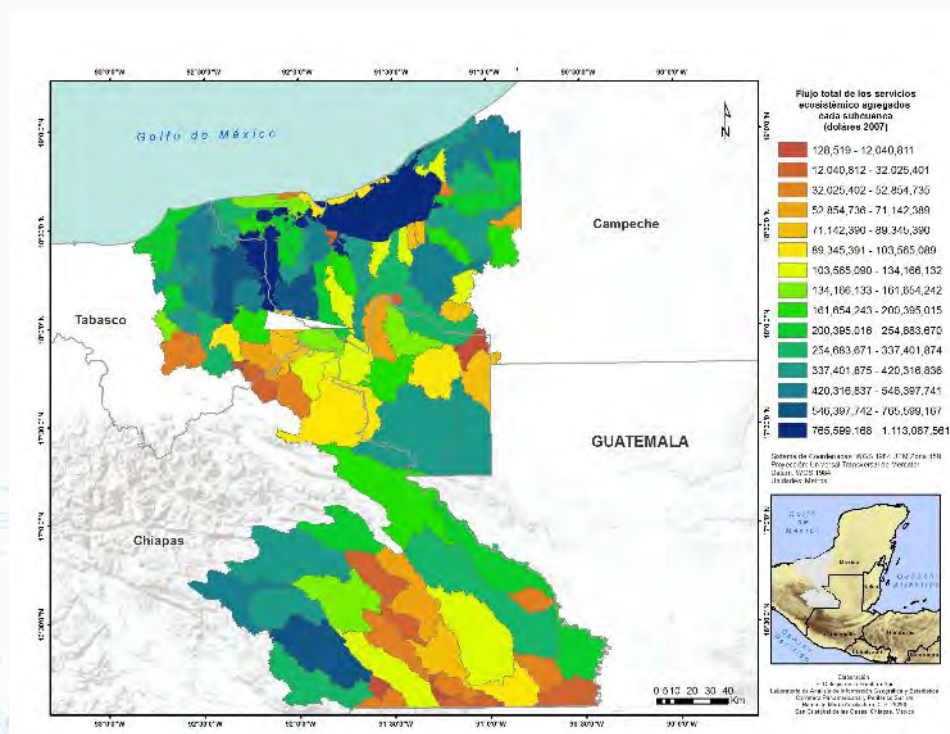


FIGURA 8. Flujo total del valor de los servicios ecosistémicos agregados cada subcuenca.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Servicios ecosistémicos y modos de vida

Las poblaciones rurales que habitan la cuenca del río Usumacinta dependen fuertemente de los ecosistemas presentes para su subsistencia y están sujetas a impactos negativos que los ponen en una situación vulnerable. Tanto el brazo principal del río Usumacinta como sus dos brazos que se desprenden en la parte baja, el río San Pedro y San Pablo, y el río Palizada, están sujetas a fuertes efectos de azolve, contaminación y el efecto de especies introducidas. La pesca, principal actividad que genera ingresos en las comunidades de la cuenca baja del Usumacinta, depende fuertemente de los pulsos naturales de inundación del río, en la que los ciclos ecológicos de las especies están fuertemente relacionados con los procesos humanos. Aunque los habitantes de la parte baja del río Usumacinta, continúan pescando, la productividad de estos sistemas se ha disminuido como resultado de la contaminación por la actividad petrolera, agrícola y ganadera. Si estas actividades no son planeadas tomando en cuenta sus externalidades a las poblaciones rurales más vulnerables, estas poblaciones humanas continuarán en un círculo de degradación del medio ambiente y pobreza.

### 4.2. Valoración económica y análisis espacial

Basándonos en las estimaciones de los servicios ecosistémicos obtenidas a través del esquema de transferencia de valor directa, se determinó que el valor económico total en la cuenca del río Usumacinta asciende a más de 23,000 millones de dólares anuales, destacando la zona focal costa y zona selva con la concentración de valores más alto,



en donde los humedales (fluviales y palustres) y bosques templados son algunos de los ecosistemas con mayor presencia. Este resultado tiene que ser tratado como una estimación conservadora debido que en la literatura revisada para llevar a cabo la transferencia de valores hay servicios ecosistémicos de cierto tipo de coberturas que han sido más estudiados que otros. Por ejemplo, se encontró que los manglares, los ambientes fluviales y los bosques tropicales son los ecosistemas que con mayor frecuencia se evalúan, a diferencia de las lagunas costeras, los sistemas lacustres y los bosques templados, ecosistemas con menor representación en la literatura de valoración. Lo anterior resalta la necesidad de realizar nuevas investigaciones enfocadas a ciertos servicios ecosistémicos (e.g. recursos ornamentales, control del clima y recursos genéticos) y ecosistemas (e.g. lagunas costeras y bosques templados) que están actualmente poco estudiados en términos de valoración económica (De Groot et al. 2012).

A pesar de estas limitaciones, los valores estimados en este trabajo ilustran qué equivalencia monetaria pueden tener los ecosistemas de la cuenca del río Usumacinta en relación a los servicios que prestan; y representan además las estimaciones iniciales del costo que supondría para la sociedad en el caso de que estos ecosistemas se perdieran o se vieran modificados. Por otra parte, las estimaciones de valor de una amplia gama de servicios ecosistémicos es un paso esencial para mejorar los incentivos y generar las inversiones necesarias para su conservación y uso sostenible, como por ejemplo los sistemas de pago por servicios ecosistémicos (Farley y Costanza 2010).

## 5. LITERATURA CITADA

- Campbell, J.B. 1996. *Introduction to Remote Sensing*, second ed. Taylor and Francis, London.
- Chan, K.M.A., M.R. Shaw, D.R. Cameron, E.C. Underwood & G.C. Daily. 2006. Conservation planning for ecosystem services. *PLoS Biology*, 4: 2138–2152.
- Costanza, R., R. d'Arge, R.S. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387 (15): 253–260.
- Crossman, N.D. & B.A. Bryan. 2009. Identifying cost-effective hotspots for restoring natural capital and enhancing landscape multi-functionality. *Ecological Economics*, 68: 654–668.
- Crossman, N.D., B.A. Bryan, D.M. Summers. 2011. Carbon payments and low-cost conservation. *Conservation Biology*, 25: 835–845.
- De Groot, R., L. Brander, S. Van Der Ploeg, R. Costanza, F. Bernard, L. Braat,... & P. Van Beukering. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem services*, 1(1): 50-61.
- Eade, J.D & D. Moran. 1996. Spatial economic valuation: benefits transfer using geographic information systems. *Journal of Environmental Management*, 48: 97–110.
- Farley, J. & R. Costanza. 2010. Payments for ecosystem services: from local to global. *Ecological Economics*, 69: 2060–2068.

- Ghermandi, A., J.C.J.M. van den Bergh, L.M. Brander, R.S. de Groot & P.A.L.D Nunes. 2010. Values of natural and human-made wetlands: a meta-analysis. *Water Resources Research*, 46.
- Lautenbach, S., C. Kugel, A. Lausch & R. Seppelt. 2011. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data. *Ecological Indicators*, 11: 676–687.
- Lavorel, S. & K. Grigulis. 2012. How fundamental plant functional trait relationships scale-up to trade-offs and synergies in ecosystem services. *Journal of Ecology*, 100: 128–140.
- Luck, G.W., K.M.A. Chan & J.P. Fay. 2009. Protecting ecosystem services and biodiversity in the world's watersheds. *Conservation Letters*, 2: 178–188.
- March, I. y M. Castro. 2010. La cuenca del río Usumacinta: Perfil y perspectivas para su conservación y desarrollo sustentable. En: *Las Cuenas Hidrológicas de México*. INECC.
- Meli, P., Landa, R., López-Medellín, X., Carabias, J., 2015. Social perceptions of rainforest and climatic change from rural communities in Southern Mexico. *Ecosystems*. 18(8), 1343-1355.
- Naidoo, R. & W.L. Adamowicz. 2006. Modelling opportunity costs of conservation in transitional landscapes. *Journal of Society for Conservation Biology*, 20 (2): 490–500.
- Naidoo, R., A. Balmford, R. Costanza, B. Fisher, R.E. Green, B. Lehner & T.H. Ricketts. 2008. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (28): 9495-9500.
- Nelson, E., S. Polasky, D.J. Lewis, A.J. Plantinga, E. Lonsdorf, D. White, D. Bael & J.J. Lawler. 2008. Efficiency of incentives to jointly increase carbon sequestration and species conservation on a landscape. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105: 9471–9476.
- Oteros-Rozas, E., Martín-López, B., González, J.A., Plieninger, T., López, C.A., & Montes, C. 2014. Socio-cultural valuation of ecosystem services in a transhumance social-ecological network. *Regional Environmental Change*, 14(4): 1269-1289.
- TEEB in Policy. 2011. En: ten Brink., P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity in National and International Policy Making*. Earthscan, London, Washington.
- Toledo, A. 2003. Ríos, costas, mares. Hacia un análisis integrado de las regiones hidrológicas de México. Instituto Nacional de Ecología.
- Wilson, M., A. Troy & R. Costanza. 2004. The economic geography of ecosystem goods and services: revealing the monetary value of landscapes through transfer methods and Geographic Information Systems. En: Dietrich, M., Straaten, V.D. (Eds.), *Cultural Landscapes and Land Use*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 69–94.



# ID-109: PERCEPCIÓN SOCIAL DE LA DEMANDA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LA MICROCUENCA EL NABO, QUERÉTARO

Palma Hernández Dora Beatriz, Pineda López Raúl Francisco

Maestría en Gestión Integrada de cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), México:

[palmyux@gmail.com](mailto:palmyux@gmail.com) y [rufuspinedal@gmail.com](mailto:rufuspinedal@gmail.com)

## RESUMEN

Los Servicios Ecosistémicos (SE), son esenciales para los humanos y sus mercados representan una fuente sustentable de ingresos para la conservación de ecosistemas y contribución al desarrollo económico. El acelerado crecimiento poblacional de la ciudad de Querétaro, ha provocado el deterioro de los ecosistemas circundantes con la consecuente alteración en la estructura y función de las microcuencas y una fuerte pérdida de sus servicios ecosistémicos. El objetivo de esta investigación fue determinar la demanda de los habitantes urbanos por los servicios ecosistémicos de la microcuenca El Nabo, obtenida mediante el método de valoración contingente, que busca valorar bienes y servicios que carecen de mercado. Se determinó la cuenca de influencia, la población objetivo, se elaboró un esquema para presentar a la población, se diseñó y aplicó una encuesta en persona y por internet. Los resultados muestran que existe una mayor demanda en los agroecosistemas, mientras que los ecosistemas naturales se caracterizan por nulas actividades o con menores demandas. También existe la influencia de diferentes niveles socioeconómicos; en la colonia Jurica la gente está dispuesta a pagar hasta \$200MXN, mientras que las demás colonias están dispuestas a pagar hasta \$50MXN y el 62.5% cree conveniente que el PSA se realice a través de un fideicomiso. En conclusión, la gente considera importante la implementación de un mecanismo local de PSA; sin embargo, los habitantes tienen total desconocimiento del tema, pero están interesados en conservar los recursos naturales, por lo que se requiere de desarrollar una cultura ambiental.

**Palabras clave:** servicios ecosistémicos, pago por servicios ambientales, método de valoración contingente, evaluación

## 1 INTRODUCCIÓN

En una microcuenca periurbana existen servicios ecosistémicos que brindan a la ciudad beneficios de uso directo como son: la producción de alimentos, provisión y regulación de agua, el control de inundaciones, de erosión, plagas y pestes, entre otros. A su vez están los beneficios de uso indirecto los cuales se relacionan con el funcionamiento de procesos ecosistémicos como: mantener el ciclo de nutrientes y los valores estéticos, espirituales y culturales (Carpenter *et al.*, 2009; de Groot *et al.*, 2010).

La ciudad de Querétaro ha tenido un alto desarrollo económico y social y como consecuencia, un crecimiento poblacional acelerado y una tendencia muy marcada a la dispersión de la urbanización, provocando con ello un deterioro de los ecosistemas, pérdida de servicios ecosistémicos, y la alteración en la estructura y función de las microcuencas (Felix, 2011). De 2000 a 2018, la ciudad de Querétaro ha tenido una tasa de crecimiento medio anual de 1.64%, convirtiéndolo en una zona metropolitana con más de un millón de habitantes (CONAPO, 2018). Dentro del Municipio de Querétaro, se encuentra la Zona Occidental de Microcuencas (ZOM), decretada como área natural protegida (ANP) en 2006, contemplando siete microcuencas: Buenavista, Santa Rosa Jáuregui, Santa María del Zapote, El Nabo, Tlacote el Bajo, Puerto de Nieto y El Potrero. Su superficie corresponde al 45% de las áreas de muy alta infiltración del municipio, teniendo una riqueza florística importante que brinda servicios ecosistémicos (CONACYT, 2014).

La microcuenca El Nabo, es la más pequeña en extensión, pero debido a su ubicación periurbana y su cobertura vegetal, se considera como la zona más conservada de toda el ANP, al respecto se ha estimado la captura de carbono, así como el caudal máximo en tres escenarios y ello constituye una evidencia de su oferta de SE. Así, el



objetivo de este trabajo es determinar la demanda de servicios ecosistémicos de la microcuenca por los habitantes de la ciudad.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca El Nabo se localiza en la parte centro-norte del municipio de Querétaro, ubicada dentro de las coordenadas 342138.79, 2291259.00 UTM, zona 14N al centroide. Cuenta con una superficie 26.28 km<sup>2</sup>, elevación media de 2,100 msnm y 51.56% de cobertura vegetal conservada de bosque, matorral y pastizal. La precipitación media anual es de 545.81 mm, con clima semi-seco templado en la parte alta y semi-seco cálido en la parte baja. Incluye una diversidad de ecosistemas correspondientes a cuatro tipos de vegetación: bosque tropical caducifolio, matorral crasicaule, matorral subtropical y pastizales (Figura 1).

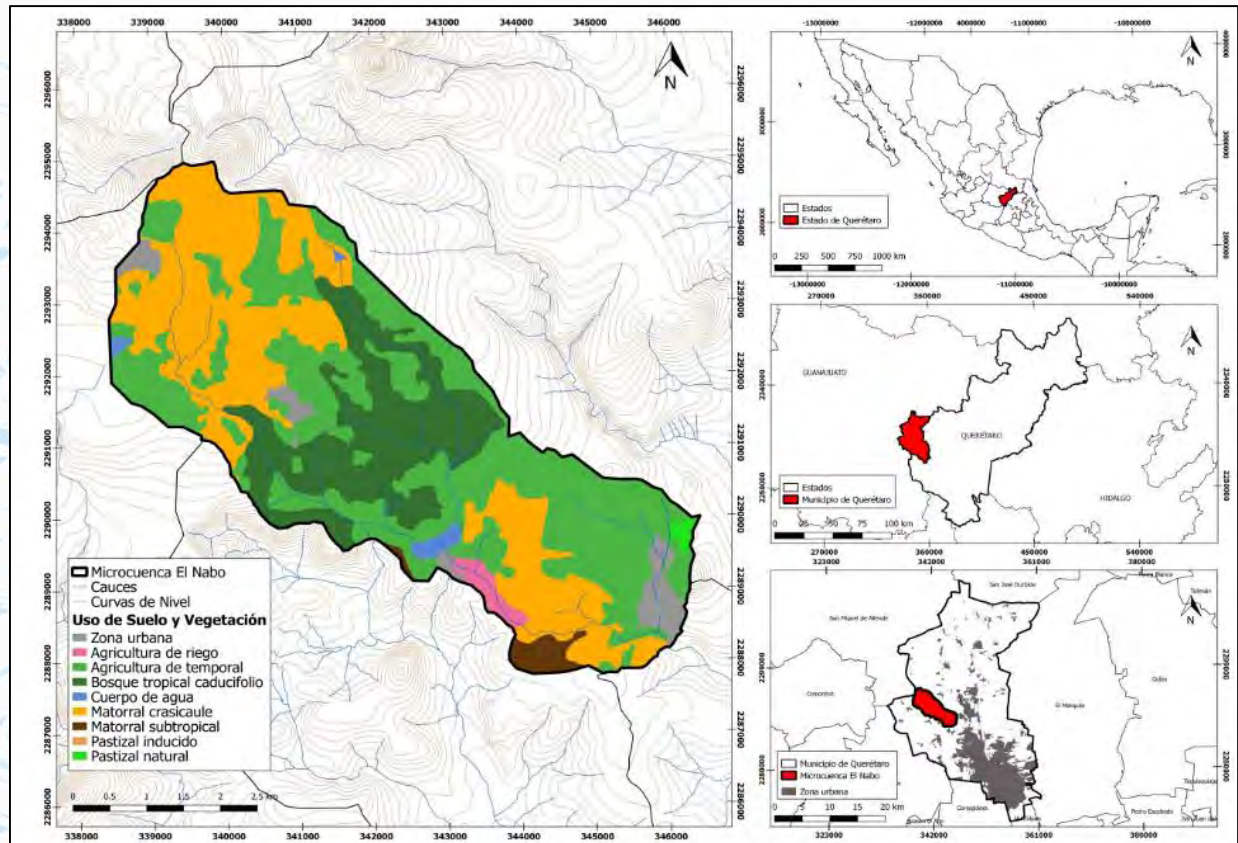


Figura 1. Ubicación de la Microcuenca El Nabo, Querétaro. Fuente: Inventario Forestal del Municipio de Querétaro (2015), INEGI (2015). Elaboración Propia

Para determinar la demanda, se utilizó el método de valoración contingente, donde se estimó el valor económico que las personas están dispuestas a pagar por los SE, para ello, se determinó la cuenca de influencia, los servicios ecosistémicos a valorar y la población objetivo. Posteriormente, se diseñó material informativo de los servicios ecosistémicos para presentar a la población y propiciar su información sobre el tema, con ello, se presentó la propuesta del proceso a los representantes locales de colonias y fraccionamientos para decidir el método de encuesta, la cual se diseñó atendiendo a la disposición de pago y se probó mediante el uso de grupos focales. Finalmente, se aplicó la encuesta a una muestra proporcional al tamaño de la población de la microcuenca de influencia.



### 3 RESULTADOS

Se determinó la microcuenca de influencia, denominada Leyes de Reforma, así como su población, que incluye a las colonias El Nabo, Leyes de Reforma, Loma Bonita, Jurica Pueblo, Rinconada Jurica, Jurica Campestre y Lomas de Satélite, con el fin de determinar la demanda de servicios ecosistémicos, ya que ellos son los principales usuarios y beneficiarios de los servicios ecosistémicos que proporciona la microcuenca El Nabo (Figura 2).

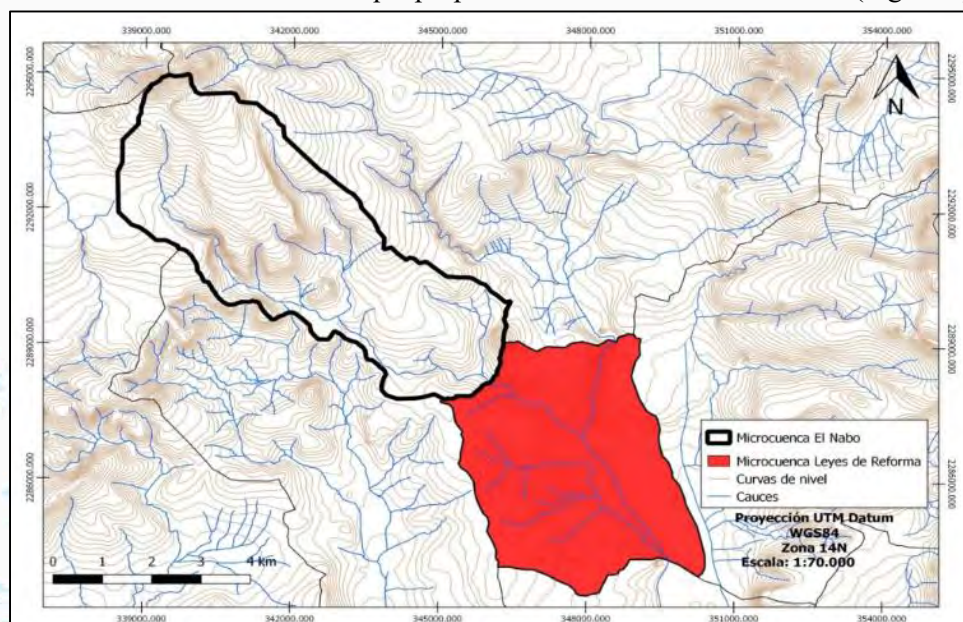


Figura 2. Microcuenca de influencia Leyes de Reforma. Fuente: INEGI (2015). Elaboración Propia

A partir de los datos obtenidos en la oferta de servicios ecosistémicos evaluados, se diseñó una infografía para presentar el proyecto a los representantes locales de la microcuenca Leyes de Reforma. Posteriormente se expuso ante representantes de las colonias involucradas (Figura 3).



Figura 3. Importancia de los servicios ecosistémicos

Se diseñó una encuesta piloto, aplicada por medio tanto de la plataforma Survey Monkey, como en una aplicación personal. La encuesta consta de información relevante sobre el bien o recurso evaluado, modificación del bien ambiental o recurso y características socioeconómicas. Se aplicaron en una primera etapa 154 encuestas.

Los resultados de la encuesta (Fig. 4 ) muestran que el 13% de los encuestados sí conoce acerca de la Zona Occidental de Microcuencas, mientras que el 87% desconoce esta área natural protegida. El 62.33% de los encuestados ha sido afectado debido a las inundaciones que se han registrado estos últimos años (Figura 5). El 77.92% de los encuestados está dispuesto a pagar para que se realicen obras de conservación en la cabecera de la cuenca, mientras que el 22.08% no está dispuesto, debido a que ellos consideran que es una de las razones por las que pagan impuestos (Figura 6). Alrededor del 78.33% de los encuestados considera que podrían aportar entre \$50 a \$200 mensuales, destinados a obras de conservación (Figura 7). De acuerdo al 62.5% de los encuestados considera que un fideicomiso es la mejor opción para destinar esa aportación, mientras que el 37.5% especificaron que lo mejor sería a través de comercio o responsable directo, predial, recibo de luz o agua y/o asociación civil con auditorías (Figura 8).

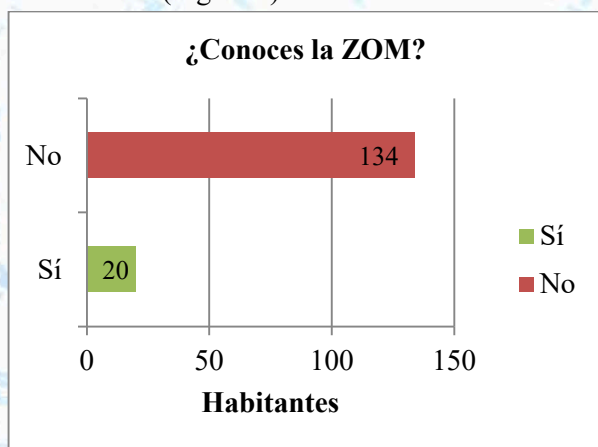


Figura 4. Conocimiento del área natural protegida

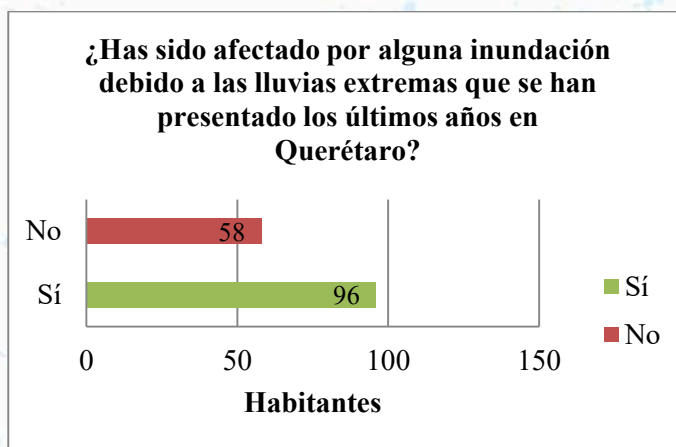


Figura 5. Afectación por inundación

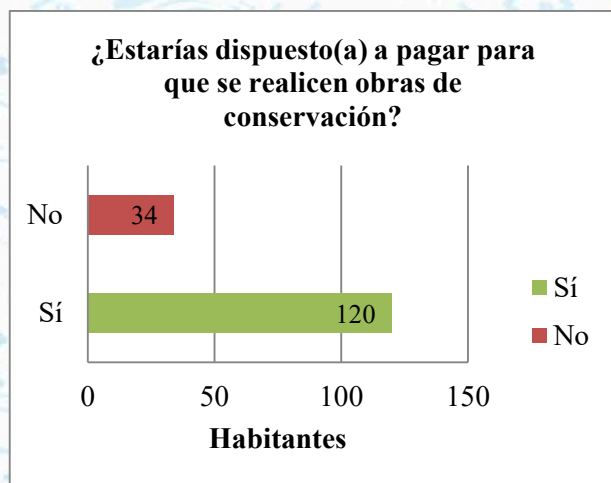


Figura 6. Disposición a pagar

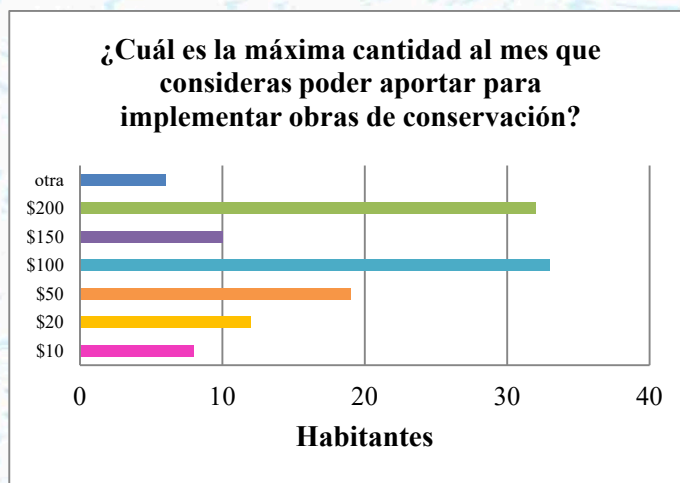


Figura 7. Cantidad dispuesta a pagar



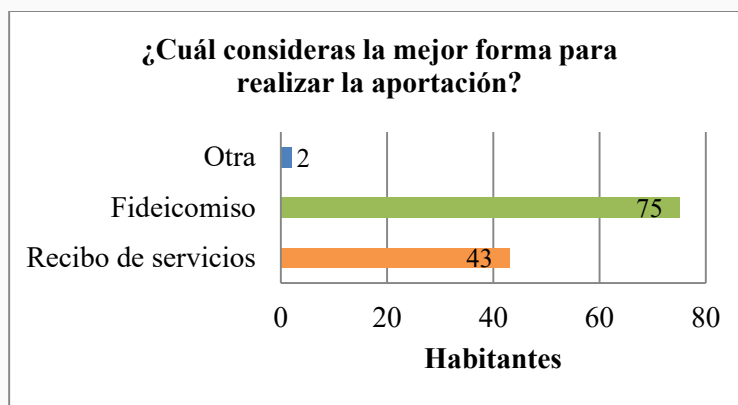


Figura 8. Medio para recibir la aportación

### Percepción Social

Durante la reunión con la Asociación de Colonos de Jurica, se contó con una buena participación, asistieron representantes de las colonias de Jurica, Jurica Pueblo, Rinconada Jurica y Leyes de Reforma. Con ayuda de la infografía se les explicó el objetivo del proyecto y la participación que ellos podrían tener, además de responder una breve encuesta para conocer su disponibilidad a pagar. En la colonia de Jurica se realizaron las encuestas por medio de la plataforma Survey Monkey, ya que a las personas se les facilitaba más contestarlas de esta manera. A pesar de que la encuesta no fue presencial, había una opción en donde podían realizar comentarios, los cuales los más interesantes son que: esperan que la información que proporcionaron sea de utilidad para la conformación de un proyecto integral; agradecieron por el interés activo que se tiene para la mejora ecológica y ambiental; también consideran que implementar exposiciones urbanas, libros, artículos, conferencias, mercados locales de productos comestibles del lugar bajo explotación sustentable y artesanías puede generar un apego a la zona y un amplio deseo de la comunidad a conservarlo; creen que es importante y urgente actuar en contra del cambio climático y el impacto ambiental. Mientras que en Jurica Pueblo se realizó de forma presencial con ayuda de la representante de la colonia en la Asociación de Colonos, al llegar al punto de reunión, había muy pocas personas, se les explicó la encuesta, pero no mostraban interés por contestarla porque mencionaban que no sabían leer o escribir o que la encuesta tenía letra pequeña, por lo que se les iba leyendo las preguntas para que ellos respondieran, algunas personas se asomaban o trataban de acercarse pero no querían participar, por lo que la representante propuso repartir las encuestas en reuniones posteriores, ya que la gente no iba a participar con personas que no conocía. Dentro de los comentarios que realizaron algunas personas al realizar la encuesta son que: nunca se habían inundado como hace dos años; la inundación llegó a cubrir la barda de la escuela; a la orilla del río tenían muchas plantas y árboles pequeños sembrados y debido a la inundación, todo se acabó; desde las obras realizadas para arreglar el dren, consideran que es peligroso para sus hijos porque es muy fácil que se caigan. En la colonia de Loma Bonita, el representante de colonos no asistió a ninguna de las dos reuniones que se tuvo con la Asociación y al momento de buscarlo, habló de las fallas que hay en su colonia, por lo que realizó una invitación para asistir a un partido de fútbol que realizan los fines de semana para poder aplicar las encuestas. Durante la aplicación de las encuestas, la gente no mostraba tanto interés en responder las encuestas, muy pocas personas llegaron a tener dudas y preguntar en ese momento. Existió un poco de apatía de los habitantes al pedirles su colaboración y opinión.

A su vez, se realizó un taller a los habitantes, principalmente eran ejidatarios y subdelegados de las localidades que están dentro de la ZOM. Se les explicó la problemática y la opción de un PSA para que se puedan implementar obras de conservación y mejoramiento de cultivos en la zona, por lo que se mostraron muy interesados. También las prácticas que ellos consideran más importantes a implementar son: reforestación con especies nativas, cultivos

sustentables, aprovechamiento de agua, control de plagas, creación de terrazas, bordos, ollas, polinización, también solicitan capacitaciones y que se lleguen a acuerdos para mantener los trabajos realizados.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos, se puede apreciar que la población urbana desconoce casi cualquier información del Área Natural Protegida. Sin embargo, al mencionarles los beneficios que ésta proporciona si se implementan obras de conservación, prácticas de manejo y mejoramiento de cultivos, están dispuestos en realizar una aportación económica, pero existe un 22% de los encuestados opina que el municipio o CEA es quien debería de realizar esa aportación, ya que ellos pagan impuestos y consideran que no les corresponde encargarse de mejorar su entorno natural. A pesar de negarse a realizar una aportación, están dispuestos a participar en programas de reforestación y compra de productos naturales provenientes de la ANP.

Se determinó la disponibilidad a pagar de los consumidores directos de la ANP y aunque no se cumplió con el número de encuestas deseadas, se observó que los habitantes de Loma Bonita, Jurica Pueblo y Jurica cuentan con diferentes niveles socioeconómicos, por lo que unas colonias pueden aportar mayor cantidad de dinero, mientras que en otras su disposición a pagar es menor. También se considera necesario realizar talleres y visitas a la ANP con el fin de generar un vínculo con personas de la cuenca alta.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación de los integrantes de la Asociación de Colonos de Jurica, a los habitantes que aceptaron colaborar en la encuesta, a los subdelegados y ejidatarios que pertenecen a la ZOM.

#### 6. LITERATURA CITADA

- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes Capacities to Provide Ecosystem Services – a Concept for Land-Cover Based Assessments. *Landscape Online*, 1–22. <https://doi.org/10.3097/LO.200915>
- Carpenter S. et al. (2009). *Science for managing ecosystem services: Beyond the MEA*. Proceedings of the National Academy of Science.
- CONACYT. (2014). Áreas Naturales Protegidas del Estado de Querétaro.
- CONAPO. (2018). *Sistema Urbano Nacional 2018*.
- Cruz, F., & Rivera, S. (2003). Valoración económica del recurso hídrico para determinar el pago por servicios ambientales en la cuenca del río Calán, Honduras. *Escuela Nacional de Ciencias Forestales*, 15(2), 24–31.
- De Groot, et al. (2010). *Estimates of monetary values of ecosystem services*. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. London.
- Felix, L. (2011). *Estudio Comparativo de la Dinámica Ecosistémica de tres Cauces Periurbanos de la Ciudad de Querétaro*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Municipio de Querétaro. (2015). *Inventario municipal forestal y de suelos*. México



## ID-138: EVALUACIÓN DE IMPACTOS VOLUMÉTRICOS Y ENERGÉTICOS DE TRASVASE EN CAUDALES SUPERFICIALES

Juan Hernández Flores<sup>1</sup>, Carlos Roberto Fonseca Ortiz<sup>2</sup>, Carlos Alberto Mastachi Loza<sup>3</sup>, Miguel Ángel Gómez Albores<sup>4</sup>, Ángeles Mendoza Samet<sup>5</sup>, Daury García Pulido<sup>6</sup>, Iván Gallego Alarcón<sup>7</sup>, Carlos Díaz Delgado<sup>8</sup> y María Vicenta Esteller Alberich<sup>9</sup>.

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México, Carretera Toluca Atlacomulco Km. 14.5 Unidad San Cayetano, Toluca de Lerdo:

<sup>1</sup>jhernandezf053@alumno.uaemex.mx <sup>2</sup>crfonsecao@uaemex.mx <sup>3</sup>camastachil@uaemex.mx

<sup>4</sup>magomez@uaemex.mx <sup>6</sup>dgarciap@uaemex.mx <sup>7</sup>iga@uaemex.mx <sup>8</sup>cdiazd@uaemex.mx

<sup>9</sup>mvestellera@ueamex.mx

UNESCO-IHE Delft Institute for water education, Westvest 7, 2611 AX Delft, Países Bajos: <sup>5</sup>a.mendoza@un-ihe.org

### RESUMEN

Los impactos volumétricos y energéticos del trasvase intercuenas denominado Sistema Lerma (SL) en caudales superficiales de la cuenca cedente del recurso hídrico (Curso Alto del Río Lerma), son evaluados en base a la explotación de agua subterránea. Para lo cual se estimó la variación del caudal mínimo superficial en función de fases de explotación de agua subterránea, considerando el estado actual de un arroyo de la cuenca cedente que no presenta alteraciones debido a actividades antropogénicas, como el estado inicial (fase 0) del caudal principal de la cuenca cedente (río Lerma). En la fase 1 se encontró la explotación de agua subterránea por trasvase, para la fase 2 se encontró la explotación de agua subterránea simultánea, por consumo local y por trasvase, más un gasto de descarga de agua residual hacia cuerpos de agua superficial.

Debido a la explotación de agua subterránea por trasvase (fase 1), el caudal mínimo del río Lerma sufrió una reducción del 25.17 % con respecto a la fase inicial (fase 0), para la fase 2 el caudal mínimo del río Lerma incremento 36.7 % con respecto a la fase 1, es decir, un incremento en el caudal del río del 4 % de la fase 0 a la fase 2. Sin embargo, el incremento volumétrico no representa las aportaciones de agua subterránea a los cuerpos de agua superficial (caudal base), sino las descargas de agua residual de la población dentro de la cuenca del CARL hacia los cuerpos de agua superficial.

La alta concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) encontrada en la fase 2, refleja el incremento de las descargas de agua residual de la población hacia los cuerpos de agua superficial. En la fase inicial la concentración de SDT era de 189 (mg/L), mientras que para la fase 2 la concentración de SDT incrementó 671 veces, encontrando una concentración de SDT de 1,457 mg/L.

La concentración de SDT son un parámetro determinante de la energía potencial química del agua, la cual, para la fase inicial fue de 4.920 (J/g), encontrando una pérdida del potencial del río de 3.6 % para la fase 2, con una energía potencial química de 4.743 (J/g) debido a la alta concentración de SDT.

El incremento de las descargas de agua residual de la población hacia los cuerpos de agua superficial ha provocado una alta concentración de SDT, así como una reducción de la energía potencial química en el caudal del río, provocando un deterioro del caudal del río Lerma, afectando directamente al caudal ecológico presente en la fase inicial, en el cual se podían albergar especies endémicas propias de la cuenca del CARL, así como bioindicadores.

**PALABRAS CLAVE:** trasvase, impactos volumétricos y energéticos, caudales superficiales, sólidos disueltos totales, energía potencial química, caudal mínimo, caudal ecológico.

## INTRODUCCIÓN

Los trasvases de agua intercuenas, desde cuencas con abundante agua hacia cuencas con escasez, ha sido una práctica para asegurar el suministro de agua en la cuenca receptora (Gohari et al., 2013). Sin embargo, la redistribución de recursos hídricos genera incertidumbre sobre los cambios que se pueden producir en los ecosistemas (Zhu et al., 2018).

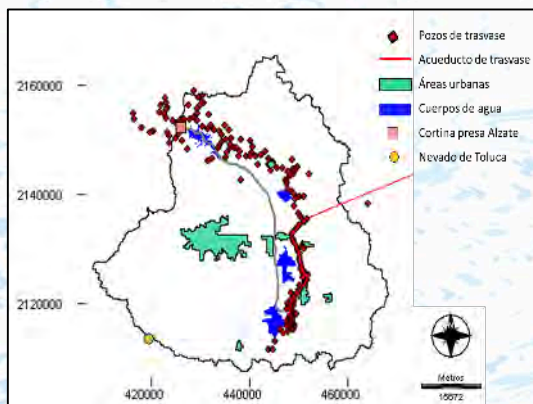
Las fuentes de abastecimiento de los trasvases, pueden ser cuerpos de agua superficial o subterránea. Sin embargo, debido a que el agua subterránea puede volver a surgir naturalmente en forma de manantiales o caudal base de los ríos (Ordoñez, 2011), los trasvases con fuentes de agua subterránea pueden causar afectaciones ambientales, tales como el abatimiento del nivel de agua subterránea, provocando una reducción del caudal base en caudales superficiales y cambios en el hábitat que los albergan, afectando directamente al caudal ecológico (Zhu et al., 2018).

Por lo que, el presente trabajo propone una metodología que permite evaluar los impactos volumétricos y energéticos debido a la explotación de agua subterránea por trasvase en caudales superficiales. Los impactos volumétricos y energéticos son evaluados con base a fases de explotación de agua subterránea, considerando el estado inicial (fase 0) del caudal principal de la cuenca cedente de un trasvase, como el estado actual de un arroyo dentro de la cuenca cedente que no presenta alteraciones debido a actividades antropogénicas, por lo que, tiene una baja concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) y por ende una alta energía potencial química. Por lo que, el arroyo tiene la capacidad de albergar un caudal ecológico, el cual cuenta con la presencia de especies acuáticas endémicas propias de la cuenca o algún bioindicador. La fase 1 considera la explotación de agua subterránea de un tipo (por consumo local o por trasvase) y la fase 2 considera la explotación de agua subterránea simultánea, por consumo local y por trasvase. En la fase 1 y 2 se considera un gasto de descarga de agua residual de habitantes dentro de la cuenca hacia los cuerpos de agua superficial.

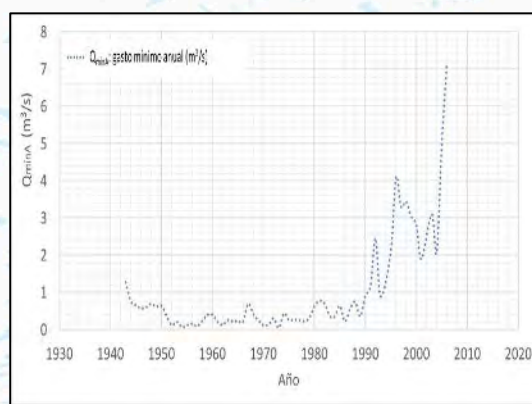
## ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del Curso Alto del Río Lerma (CARL; Figura 1) es una subcuenca de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, es el lugar donde inicia el río principal de esta cuenca (río Lerma), ubicada en el estado de México, al poniente de la ciudad de México, entre las coordenadas 19° 03' y 19° 34' de latitud norte y 99° 18' y 99° 51' de latitud oeste.

La cuenca del CARL cuenta con 6 estaciones hidrométricas, siendo la estación 12374 (La Y), la estación más cercana al exutorio, así como la que cuenta con más registros hidrométricos, desde 1942 hasta 2014, con ausencia de algunos años y meses. La figura 2 muestra gráficamente los registros hidrométricos del caudal mínimo anual, donde se puede observar una reducción del caudal mínimo en 1951, año en que inicia operaciones el trasvase Sistema Lerma, además, se puede observar un incremento en el caudal a partir de 1990.



**Figura 1.** Cuenca del Curso Alto del Río Lerma.



**Figura 2.** Caudal mínimo anual en estación 12374.



En la cuenca del CARL todavía se cuenta con arroyos que no presentan alteraciones debido a actividades antropogénicas, los cuales tienen la presencia de especies acuáticas propias del CARL, así como bioindicadores. Por lo que, en el presente trabajo se considera el estado actual del arroyo con menor concentración de SDT y con mayor energía potencial química como el estado inicial (fase 0) del caudal principal (río Lerma) de la cuenca cedente (CARL) del trasvase Sistema Lerma (SL).

La figura 3 muestra los lugares de muestreo del presente trabajo, siendo MB el arroyo con menor concentración de SDT y mayor energía potencial química.



**Figura 3.** Ubicación de lugares de muestreo (MA, MB y MC).

Las especies acuáticas encontradas en los lugares de muestreo fueron: gammarus (MC), Girardinichthys multiradiatus (MA) y Trichoptera (MB). Cabe mencionar que el Girardinichthys multiradiatus es una especie declarada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza como vulnerable (Meek, 1904) y el Trichoptera es un indicador de la calidad del agua (bioindicador), el cual es muy sensible a contaminantes (Lozano, 2005).

### ANTECEDENTES

La cuenca del Curso Alto del Río Lerma (CARL) ha proporcionado agua hacia la cuenca del Valle de México desde 1929, cuando el pueblo de San Pedro Atlapulco cedió sus derechos al Departamento del Distrito Federal sobre cuatro manantiales, a cambio de que dicho organismo instalara la tubería para introducir agua potable en el pueblo y la construcción de la escuela de la localidad (Torres, 2014).

En 1942 iniciaron las obras para la construcción del trasvase Sistema Lerma (SL), interceptando las corrientes subterráneas a lo largo del acueducto, iniciando operaciones en 1951, inicialmente por medio de 75 pozos, con profundidades de entre 50 y 308 m (Torres, 2014). En la actualidad el SL cuenta con 383 pozos (CONAGUA, 2015).

La tabla 1 muestra el gasto de trasvase a lo largo del tiempo, donde se puede observar que de 1969 a 1984 se tuvo un gasto de trasvase superior a 9 m³/s, siendo en 1974 cuando se registró el máximo gasto de trasvase (Q<sub>tr</sub>) de 13.149 (m³/s).

**Tabla 1.** Gasto de trasvase de Sistema Lerma a lo largo del tiempo (Torres, 2014).

Año	Q <sub>tr</sub> (m³/s)	Año	Q <sub>tr</sub> (m³/s)	Año	Q <sub>tr</sub> (m³/s)	Año	Q <sub>tr</sub> (m³/s)	Año	Q <sub>tr</sub> (m³/s)
1951	1.650	1964	4.200	1977	11.210	1990	5.264	2003	6.390
1952	2.850	1965	3.922	1978	9.994	1991	5.260	2004	5.525

1953	2.854	1966	2.976	1979	9.860	1992	5.211	2005	4.960
1954	2.515	1967	4.191	1980	9.952	1993	5.212	2006	4.722
1955	2.594	1968	7.639	1981	9.952	1994	5.378	2007	4.620
1956	2.970	1969	9.704	1982	11.030	1995	4.708	2008	4.500
1957	3.120	1970	11.757	1983	10.780	1996	4.722	2009	4.600
1958	3.775	1971	12.477	1984	9.570	1997	4.683	2010	4.720
1959	3.820	1972	12.560	1985	7.242	1998	4.910	2011	4.000
1960	4.082	1973	12.042	1986	7.380	1999	5.520	2012	3.800
1961	3.944	1974	13.149	1987	6.899	2000	5.500	2013	3.900
1962	3.492	1975	12.360	1988	5.465	2001	5.515		
1963	4.304	1976	11.938	1989	5.128	2002	5.462		

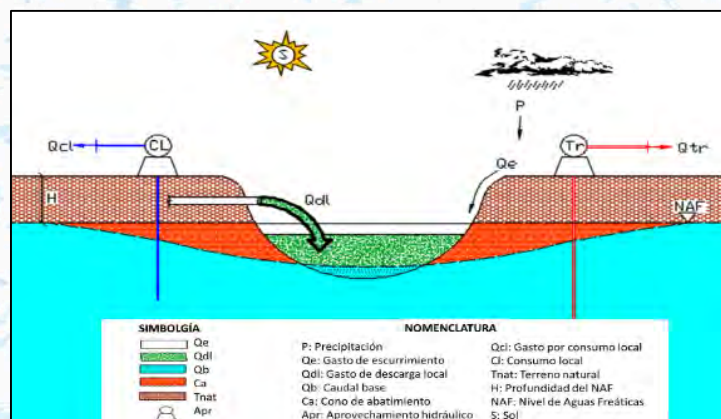
El trasvase SL ha provocado afectaciones ambientales debido a la explotación de agua subterránea, tales como el abatimiento del nivel de agua subterránea, provocando una reducción del caudal mínimo en caudales superficiales y cambios en el hábitat que los albergan, afectando directamente al caudal ecológico (Zhu et al., 2018).

Sin embargo, a pesar del reconocimiento de los efectos del trasvase, no existe ninguna evaluación completa "ex post" de las repercusiones del trasvase en sus distintos ámbitos de influencia. Por ello, hay que recurrir a estudios parciales que, de manera general, permiten trazar las grandes líneas de los impactos (COX, 1999).

## METODOLOGÍA

La metodología para la evaluación de impactos volumétricos y energéticos por trasvase en caudales superficiales propone un modelo conceptual como se muestra en la figura 4, donde se pueden observar los elementos involucrados en los cambios de caudales superficiales debido a la explotación de agua subterránea y las aportaciones de descargas de agua residual hacia cuerpos de agua superficial.

En el modelo conceptual (figura 4) se observa un cono de abatimiento en el nivel de agua subterránea debido a la explotación de agua subterránea, así como un incremento volumétrico debido a las aportaciones de agua residual hacia los cuerpos de agua superficial. Por lo que, es posible que las descargas de agua residual sustituyan parcialmente el gasto perdido debido a la explotación de agua subterránea. Sin embargo, las descargas de agua residual no cuentan con la misma calidad que con la que fue extraída.



**Figura 4.** Modelo conceptual de impactos de trasvase en caudales superficiales.



La explotación de agua subterránea puede ser para abastecer a la población dentro de la cuenca de la cual se extrae el vital líquido (consumo local) o para abastecer un trasvase de agua intercuenas, sin embargo, esta actividad no necesariamente puede ser una actividad simultánea. Por ello, la presente metodología propone la generación de fases de explotación de agua subterránea, lo que permite identificar y separar las diferentes variables que generan alteraciones debido a la explotación de agua subterránea.

Las fases de explotación de agua subterránea propuestas son:

- Fase inicial (fase 0): un estado hipotético en el que no existen alteraciones debido a actividades antropogénicas en el caudal superficial de la cuenca cedente de un trasvase. Por lo que, el caudal superficial principal de la cuenca cedente tiene la capacidad de albergar un caudal ecológico.
- Fase 1: considera el estado inicial, más un gasto de extracción de agua subterránea por consumo local ( $Q_{cl}$ ), es decir de habitantes dentro de la cuenca en estudio o extracciones de agua subterránea para abastecer un trasvase de agua intercuenas ( $Q_{tr}$ ). Además, considera un gasto de descarga de agua residual hacia cuerpos de agua superficial de habitantes dentro de la cuenca en estudio, considerado como gasto de descarga local ( $Q_{dl}$ ).
- Fase 2: considera el estado inicial del caudal superficial principal de la cuenca cedente, así como la explotación de agua subterránea simultánea, por consumo local ( $Q_{cl}$ ) y por trasvase ( $Q_{tr}$ ), más un gasto de descarga local ( $Q_{dl}$ ) hacia cuerpos de agua superficial.

El gasto de trasvase ( $Q_{tr}$ ) puede ser considerado mediante registros de diferentes autores. Sin embargo, para el presente trabajo se consideran los registros obtenidos por Torres (2014). El gasto por consumo local puede ser estimado mediante la metodología propuesta por CONAGUA en su Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS; CONAGUA, 2007), para lo cual es necesario contar con registros de la población dentro de la cuenca en estudio a lo largo del tiempo, los cuales pueden ser obtenidos de las diferentes dependencias encargadas de realizar los censos de población a lo largo del tiempo: Secretaría de Economía Nacional (1930, 1940), Secretaría de Economía (1950), Secretaría de Industria y comercio (1960, 1970) y por el INEGI (1980, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015). Mientras que los registros hidrométricos pueden ser obtenidos del Banco Nacional De Aguas Superficiales (BANDAS).

De los registros hidrométricos pueden ser obtenidos los gastos mínimos diarios a lo largo del tiempo, de los cuales se puede estimar la media mensual del gasto mínimo a lo largo del tiempo, así como el promedio del gasto mínimo mensual por fase.

De esta manera, es posible identificar los impactos volumétricos en caudales superficiales debido a la explotación de agua subterránea por consumo local y por trasvase, así como las aportaciones de agua residual de la población local hacia los cuerpos de agua superficial.

Cualitativamente es considerada la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el caudal base ( $C_{cb}$ ) y debido a las descargas de agua residual ( $C_{dl}$ ) en función del caudal mínimo ( $Q_{min}$ ) y el gasto de descarga local ( $Q_{dl}$ ). Para lo cual se propone una ponderación de la concentración de SDT ( $C_2$ ) mediante la ecuación 1.

$$C_2 = \begin{cases} \frac{(Q_{min} - Q_{dl})(C_{cb}) + (Q_{dl})(C_{dl})}{Q_{min}}, & \text{si } Q_{min} > Q_{dl} \\ C_{dl}, & \text{si } Q_{min} \leq Q_{dl} \end{cases} \quad [1]$$

La concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) es un parámetro indispensable para determinar la energía potencial química del agua, la cual puede ser calculada mediante la energía libre de Gibbs, la cual puede ser calculada mediante la ecuación 2, donde  $G_{fe}$  es la energía libre de Gibbs (J/g),  $R$  es la constante universal de los gases ideales (8.33 J/mol K),  $T$  es la temperatura del agua en condiciones estándar (300 K),  $w$  es el peso molecular

del agua (18 g/mol),  $C_1$  es la concentración de SDT del agua de mar (35,000 mg/L), y  $C_2$  es la concentración de SDT del agua a estudiar (mg/L).

$$G_{fe}^i = \frac{RT}{w} \ln \left[ \frac{(1 \times 10^6) - C_2}{(1 \times 10^6) - C_1} \right] \quad 2$$

De esta manera es posible estimar la energía potencial química del agua en el caudal mínimo diario a lo largo del tiempo, así como la media de la energía potencial química mensual por fase y el promedio de la energía potencial química por fase.

## RESULTADOS

A partir de la metodología propuesta, se diseñó el modelo conceptual (Figura 4) que permite identificar las variables involucradas, de los impactos volumétricos y energéticos de un trasvase debido a la explotación de agua subterráneas en caudales superficiales de la cuenca cedente del recurso hídrico.

La identificación de fases de explotación de agua subterránea se realizó de acuerdo a la explotación de agua subterránea por consumo local ( $Q_{cl}$ ) y por trasvase ( $Q_{tr}$ ), encontrando que de 1942 o incluso años anteriores, el caudal del río no presentaba alteraciones debido a actividades antropogénicas, hasta 1951 cuando inicia la explotación de agua subterránea para abastecer al trasvase SL, mientras que la población local podía abastecer sus necesidades hídricas de fuentes de agua superficial hasta 1964, cuando inicia la explotación de agua subterránea por consumo local debido a que el gasto por consumo local es superior a la concesión de agua superficial para uso urbano (15.6 m<sup>3</sup>/año; Fonseca, 2014).

Por lo que, las fases de explotación de agua subterránea identificadas se establecen de la siguiente manera (Figura 5):

Fase 0: de 1942 a 1950, periodo de tiempo en el que no existen alteraciones debido a actividades antropogénicas, se considera un estado natural en el caudal del río Lerma dentro de la cuenca del CARL, en el que no existen extracciones de agua subterránea. Por lo que, el caudal del río puede albergar un caudal ecológico.

Fase 1: de 1951 a 1963, se presenta la extracción de agua subterránea para abastecer el trasvase ( $Q_{tr}$ ) SL, se infiere que debido a que la concesión de agua superficial es mayor a la demanda de agua urbana, la población podía abastecer sus necesidades hídricas desde fuentes de agua superficial. Sin embargo, existe un gasto de descarga de agua residual hacia los cuerpos de agua superficial.

Fase 2: de 1964 al 2013, existen extracciones de agua subterránea simultáneas, por consumo local ( $Q_{cl}$ ) para abastecer a la población dentro de la cuenca cedente (CARL) y por trasvase ( $Q_{tr}$ ), así como un gasto de retorno hacia los cuerpos de agua superficial de agua residual ( $Q_{dl}$ ) de la población dentro de la cuenca del CARL.

La identificación de impactos volumétricos se realizó mediante el análisis del gasto mínimo diario a lo largo del tiempo, estimando la media del gasto mínimo mensual ( $Q_{minf}$ ) para cada fase, así como el promedio del gasto mínimo por fase ( $\bar{Q}_{minf}$ ).

Para lo cual, la tabla 2 muestra la media del gasto mínimo mensual ( $Q_{minf}$ ) encontrados en el río Lerma dentro de la cuenca del Curso Alto del Río Lerma (CARL; cuenca cedente del recurso hídrico) para las fases de explotación de agua subterránea encontradas, así como el promedio del gasto mínimo por fase ( $\bar{Q}_{minf}$ ).

En la tabla 2 se puede observar que, en la fase 1 la mayoría de los meses existe una reducción en el caudal mínimo del río, excepto en los meses de julio y agosto probablemente debido a que en estos meses hay mayor precipitación. Para la fase 2, se presenta una recuperación volumétrica en el caudal mínimo del río Lerma en todos los meses. Sin embargo, esta recuperación volumétrica no representa las aportaciones de agua subterránea a los cuerpos de



agua superficial (caudal base), sino las descargas de agua residual de la población dentro de la cuenca del CARJ hacia los cuerpos de agua superficial.

De acuerdo con el promedio del gasto mínimo por fase ( $\bar{Q}_{\min f}$ ), se puede inferir que la reducción volumétrica de 0861 m<sup>3</sup>/s de la fase 0 a la fase 1 es debido a la explotación de agua subterránea para abastecer el trasvase SL y que el incremento volumétrico de 0.996 de la fase 1 a la fase 2 es debido a las aportaciones de agua residual de la población local hacia los cuerpos de agua superficial.

Por lo que, la tabla 3 muestra los impactos volumétricos en caudales superficiales debido a la explotación de agua subterránea, donde se puede observar que de la fase 0 a la fase 1, el caudal del río presentó una reducción en el caudal mínimo del 25%, es decir una reducción de 0.86 m<sup>3</sup>/s. Mientras que de la fase 1 a la fase 2, el caudal mínimo se recuperó 37%, es decir un incremento de 1 m<sup>3</sup>/s de la fase 1 a la fase 2, presentando un incremento volumétrico del 4% de la fase 0 a la fase 2.

**Tabla 2.** Media del gasto mínimo mensual por fase y promedio del gasto mínimo por fase

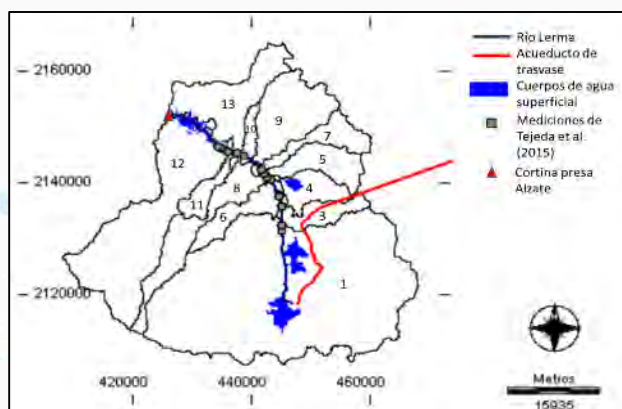
Mes	$Q_{\min 0}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{\min 1}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{\min 2}$ (m <sup>3</sup> /s)
Enero	2.760	0.782	2.273
Febrero	1.765	0.364	1.820
Marzo	1.105	0.254	1.807
Abril	0.989	0.255	1.641
Mayo	1.132	0.496	2.060
Junio	1.460	1.000	2.423
Julio	3.159	3.741	4.568
Agosto	5.508	5.989	6.461
Septiembre	8.282	7.484	7.645
Octubre	7.135	5.630	5.972
Noviembre	4.304	3.183	3.221
Diciembre	3.440	1.531	2.771
$\bar{Q}_{\min f} =$	<b>3.420</b>	<b>2.559</b>	<b>3.555</b>

**Tabla 3.** Impactos volumétricos por fase.

	$I_v$ (m <sup>3</sup> /s)	%
<b>0-1</b>	-0.86	-25
<b>1-2</b>	1.00	37
<b>0-2</b>	0.14	4

De manera adicional se estimó el gasto de agua residual de la población local ( $Q_{est}$ ) por subcuencas (figura 5), de acuerdo con los tributarios del Río Lerma estudiados por Tejeda et al. (2014), quien en su estudio “Balance de masa de materia orgánica en el curso alto del Río Lerma” estimó el gasto en los tributarios.

La tabla 4 muestra el gasto obtenido por Tejeda et al (2014), así como el gasto de descarga de agua residual de la población estimado por subcuenca, donde se puede observar que, la mayor parte de gasto que fluye en los tributarios es debido a las descargas de agua residual, ya que el gasto de descarga de agua residual de la población es 4% diferente al gasto estimado por Tejeda et al. (2014), lo que coincide con lo mencionado por Tejeda et al. (2014), que “la mayor parte de agua en los tributarios es debido a actividades antropogénicas”.



**Figura 5.** Subcuencas de tributarios según Tejeda et al. (2014)

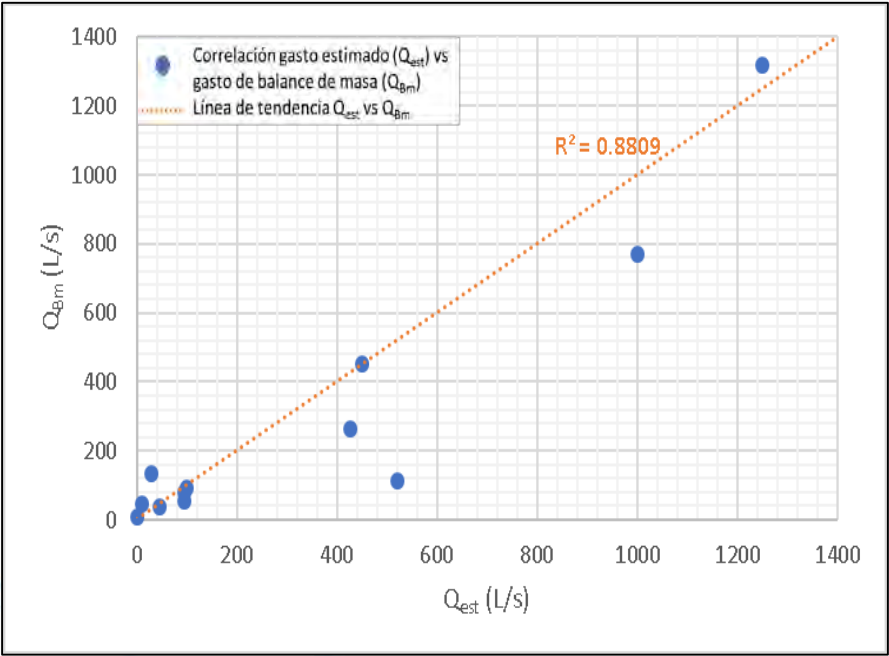
Por lo que, los tres órdenes de gobierno han propuesto un proyecto a largo plazo y que no se suelte por lo menos en 25 años, para el cual se requiere de un presupuesto de 25 millones de pesos, ya que es un problema que no se va a resolver en un sexenio, tiene que ser un trabajo coordinado de varias dependencias entre los tres tipos de gobierno para sanear el río Lerma, ya que de 53 plantas de tratamiento en la cuenca, sólo funciona la tercera parte entre otros factores que han deteriorado el río Lerma (Miranda, 2019).

**Tabla 4.** Balance de masa vs gasto estimado en tributarios.

	<b>Tributarios Balance de Masa</b>	<b><math>Q_{Bm}</math> (L/s)</b>	<b><math>Q_{est}</math> (L/s)</b>
<b>1</b>	<b>Mex-Tol</b>	<b>591</b>	<b>572.9</b>
<b>2</b>	<b>RECICLAGUA</b>	<b>450</b>	<b>450</b>
<b>3</b>	<b>Ameyalco</b>	<b>95</b>	<b>56.2</b>
<b>4</b>	<b>El Llanito</b>	<b>45</b>	<b>37.3</b>
<b>5</b>	<b>Atarasquillo</b>	<b>10</b>	<b>44.1</b>
<b>6</b>	<b>Canal Totoltepec</b>	<b>1000</b>	<b>770.9</b>
<b>7</b>	<b>Xonacatlán</b>	<b>95</b>	<b>80.4</b>
<b>8</b>	<b>Toluca-Norte</b>	<b>1250</b>	<b>1316.4</b>
<b>9</b>	<b>Santa Catarina</b>	<b>520</b>	<b>114.4</b>
<b>10</b>	<b>San Lorenzo</b>	<b>0</b>	<b>9.5</b>
<b>11</b>	<b>Verdiguel</b>	<b>100</b>	<b>93.9</b>
<b>12</b>	<b>Tejalpa</b>	<b>426</b>	<b>262.9</b>
<b>13</b>	<b>Temoaya</b>	<b>28</b>	<b>132.2</b>
<b>14</b>	<b>Villa Cuauhtémoc (La “Y”)</b>	<b>4109</b>	<b>3941.1</b>



Además, se trazó gráficamente la relación del gasto obtenido por Tejeda et al. (2014) para los tributarios del río Lerma y el gasto de descarga de agua residual estimado en el presente estudio, encontrando un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.889 (figura 6).



**Figura 6.** Validación de descargas ( $Q_{Bm}$  vs  $Q_{est}$ ).

Cualitativamente se estimó la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el caudal mínimo diario mediante la ecuación 1. Para lo cual, se considero como la concentración de SDT del caudal base como la concentración de SDT encontrada en el arroyo de la muestra de agua MB.

La tabla 5 muestra la media de la concentración de SDT mensual (CM) por fase, donde se puede observar el promedio de la concentración de SDT por fase ( $\hat{C}_f$ ), como se observa en la tabla 5, la concentración de SDT incrementa en la fase 1 y en la fase 2 es aún superior a la concentración de SDT en la fase 2, lo que representa las aportaciones de agua residual de la población local hacia los cuerpos de agua superficial.

A partir de la concentración de SDT, se estimó la energía potencial química diaria presente en el caudal mínimo del río mediante la ecuación 2. Para lo cual, la tabla 6 muestra la media de la energía potencial química mensual por fase  $G_{feM}$ , donde también se puede observar el promedio de la energía libre potencial química por fase  $\hat{G}_f$ .

En la tabla 6 se puede observar que la energía potencial química del río ha sufrido un deterioro en cada uno de los meses.

**Tabla 5.** Concentración de SDT promedio por fase.

Mes	C0 (mg/L )	C1 (mg/L )	C2 (mg/L )
Enero	189	1,441	1,776
Febrero	189	1,834	1,909

Marzo	189	1,990	1,951
Abril	189	2,001	1,937
Mayo	189	1,610	1,852
Junio	189	987	1,676
Julio	189	410	1,097

Agosto	189	349	848
Septiembre	189	300	769
Octubre	189	369	902
Noviembre	189	531	1,318
Diciembre	189	797	1,448
<b><math>\hat{C}_f =</math></b>	<b>189</b>	<b>1,052</b>	<b>1,457</b>

**Tabla 6.** Energía potencial química.  
Promedio por fase.

<b>Mes</b>	<b>G<sub>fe0</sub> (J/g)</b>	<b>G<sub>fe1</sub> (J/g)</b>	<b>G<sub>fe2</sub> (J/g)</b>
Enero	4.920	4.746	4.699
Febrero	4.920	4.691	4.681
Marzo	4.920	4.670	4.675
Abril	4.920	4.668	4.677
Mayo	4.920	4.722	4.689
Junio	4.920	4.809	4.713
Julio	4.920	4.889	4.794
Agosto	4.920	4.898	4.828
Septiembre	4.920	4.905	4.839
Octubre	4.920	4.895	4.821
Noviembre	4.920	4.873	4.763
Diciembre	4.920	4.836	4.745
<b><math>\hat{G}_f =</math></b>	<b>4.920</b>	<b>4.800</b>	<b>4.743</b>



Por lo que, los impactos energéticos se muestran en la tabla 7, donde se puede observar una pérdida de energía potencial química de la fase 0 a la fase 1 de 2.4 %, es decir el caudal del río perdió 0.12 (J/g) y una pérdida de 1.2 % de la fase 1 a la fase 2, una pérdida de energía potencial química del caudal mínimo de 0.06 (J/g). Lo que significa que el caudal del río perdió 3.6 % de su energía potencial química de la fase 0 a la fase 2, 0.18 (J/g).

**Tabla 7.** Impactos energéticos por fase.

	<b>Ie</b> (J/g)	<b>%</b>
<b>0--1</b>	-0.12	-2.4
<b>0--2</b>	-0.18	-3.6
<b>1--2</b>	-0.06	-1.2

## CONCLUSIONES

La metodología propuesta para la evaluación de impactos volumétricos y energéticos por trasvase en caudales superficiales ha permitido evaluar los impactos debido a la explotación de agua subterránea por trasvase y por consumo local, así como las afectaciones debido a las descargas de agua residual de la población hacia los cuerpos de agua superficial.

Para el caso particular del trasvase Sistema Lerma (SL), se presenta una reducción del caudal mínimo debido a la explotación de agua subterránea por trasvase. Sin embargo, debido al crecimiento poblacional dentro de la cuenca cedente del recurso hídrico, se presenta un incremento volumétrico en el caudal del río debido a las descargas de agua residual de la población dentro de la cuenca.

Por lo que, debido a los impactos volumétricos y energéticos encontrados del trasvase Sistema Lerma (SL) en caudales superficiales de la cuenca del Curso Alto del Río Lerma (cuenca cedente del recurso hídrico), se propone realizar estudios avanzados que permitan identificar económicamente los daños en caudales superficiales. De esta manera será posible proponer un Pago por Servicios Ambientales (PSA) debido a la explotación de agua subterránea por trasvase en caudales superficiales de la cuenca cedente.

## REFERENCIAS

- CONAGUA. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Toluca (1501), Estado de México. México: CONAGUA.
- COX, WILLIAM E. (1999a): "Preface", pp. 5-7, en UNESCO: Interbasin water transfer. Proceedings of the International Workshop, UNESCO, Paris, 25-27 de abril de 1999, IHP-V, Technical Documents in Hydrology, n° 28, UNESCO, París, 229 pp.
- Fonseca, C. (2014). sistema de modelos termohidrológicos de evaluación de eficiencia y optimación en asignación de recursos hídricos. Toluca: CIRA.
- Gohari, A, Eslamian, S, Mirchi, A, Abedi, J, Massha, A and Madani, K. (2013). Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can Bacfire. Journal of Hydrology, 1, 17.
- Lozano, L. (7 diciembre 2005). LA BIOINDICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA: IMPORTANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO JUAN AMARILLO, CERROS ORIENTALES DE BOGOTA. Umbral Científico, 7, 511.

Meek, S. (1904). The fresh-water fishes of Mexico north of the Isthmus of Tehuantepec. octubre 01, 2017, de Goodeid Working Group Sitio web: <http://www.goodeidworkinggroup.com/girardinichthys-multiradiatus>

Miranda, R. (2019, septiembre 22). Sanear el Río Lerma no es una misión imposible. El Sol de Toluca, p. 1.

Odum, H. (1996). Environmental Accounting Emergy and Environmental Decision Making. USA: John Wiley & Sons, inc.

Ordoñez, J. J. (2011). Aguas Subterráneas-Acuíferos. Lima-Perú: GWPS.

Tejeda, S., Avila, P., Borja., M., Zarazúa, G. & García, J. A. (2014). Balance de masa de materia orgánica en el curso alto del Río Lerma. En Avances en ciencias del agua (pp. 53-75). México: UAEM.

Torres, L. (2014). SISTEMA LERMA: Una Visión Política en la Gestión Pública del agua, ¿solución Estatal o Federal?. Toluca, Estado de México: Edgar Adrián Rodríguez Cuevas.

Zhu, X., Wu, J., Nie, H., Guo, F., Wu, J., Chen, K., Liao, P., Xu, H., Zeng, X. (2018). Quantitative assessment of the impact of an inter-basin surface-water transfer project on the groundwater flow and groundwater-dependent eco-environment in an oasis in arid northwestern China, Hydrogeology Journal, doi.org/10.1007/s10040-018-18044.



## ID-204: VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA COPRODUCCIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS FORESTALES EN EL SUROESTE DEL SUELO DE CONSERVACIÓN DE LA CDMX, MEDIANTE EL MÉTODO DE EXPERIMENTO DE ELECCIÓN

Mtro. Rigoberto Jaime Santiago Romero

El Colegio de México A.C. Carretera Picacho Ajusco 20, Tlalpan, CDMX, rigobertoj.santiago@gmail.com

### Resumen

La continua expansión de la Ciudad de México hacia su Suelo de Conservación propicia la conversión del suelo forestal para usos agrícolas o urbanos. La inadecuada implementación de los programas gubernamentales de conservación ambiental, aunada a las condiciones socio-económicas imperantes en la zona contribuyen a acentuar el cambio de uso de suelo, dilapidando así la disponibilidad de los servicios ecosistémicos de la zona, lo cual podría producir más efectos negativos sobre la calidad de vida de los habitantes de la zona.

Esta investigación tuvo por objetivo conocer las condiciones más idóneas para la preservación de los ecosistemas forestales en cuatro núcleos agrarios ubicados en la zona suroeste de la periferia de la CDMX. Esto desde la percepción de los que participan en las labores de conservación. Se asume que las labores de conservación forestal dentro de programas gubernamentales permiten que las personas locales participen en la coproducción de servicios ecosistémicos; de ahí que surge la necesidad de incorporar su opinión en el diseño de políticas públicas de conservación ambiental.

Para este fin se ha desarrollado una valoración económica con base en experimentos de elección. Esto requirió la realización de un grupo focal; que sirvió para el diseño de una encuesta que fue ejecutada en integrantes de las brigadas que realizan tareas de conservación forestal, esto en cuatro núcleos agrarios del caso de estudio. Los resultados de esta encuesta fueron parametrizados y analizados mediante estadística descriptiva y el modelo logit condicional.

Los principales resultados arrojan que se prefiere que las asambleas comunitarias y ejidales participen activamente dentro del diseño de las reglas de operación de los programas de conservación ambiental, y se opta por recibir un mejor equipamiento con asesoría técnica; todo esto por encima del monto económico. Esto significa que los participantes participan en las labores de conservación por convicción propia más que por motivaciones económicas. Aunado a esto, los participantes están dispuestos a recibir al menos \$7,859.15 pesos mensuales por desempeñar labores de conservación; lo que indica que se requieren de al menos 33 millones de pesos al año para cubrir la remuneración mínima de hasta 352 participantes en la zona de estudio.

**Palabras clave:** coproducción, servicios ecosistémicos, valoración económica, experimento de elección, núcleos agrarios

### Introducción

Dentro de la problemática de la degradación ambiental, la urbanización<sup>25</sup> es señalada como el fenómeno social que más abusa en el uso de la naturaleza; esto porque no solo implica una mayor expansión urbana, sino que además incrementa la demanda de recursos naturales y servicios ecosistémicos<sup>26</sup> (Camaño et al., 2018; Caro-Caro y Torres-Mora, 2015; Eric Gómez-Baggethun y de Groot, 2007; ONU-HABITAT, 2016; Pisanty, Mazari, y Ezcurra, 2009).

Las consecuencias de la urbanización giran en torno a los daños profundos a la biodiversidad, la contaminación del suelo, agua y aire, la sobreexplotación de los recursos naturales y las afectaciones a ecosistemas (Pisanty, Mazari, y Ezcurra, 2009; Sheinbaum, 2011). Otro efecto negativo es el cambio de uso del suelo en los territorios

---

<sup>25</sup> Unikel (1968) cita a Dorselaer y Gregory (1965), definiendo a la urbanización como *un proceso complejo que se manifiesta a través de dos grandes fenómenos: el primero [...] corresponde a la creciente concentración de la población urbana, que opera a través del crecimiento de las localidades urbanas existentes y del surgimiento de nuevas localidades urbanas. El segundo, [...] consiste en la evolución de la forma de vida de la población, de un tipo tradicional-rural a otro moderno-urbano* (Unikel, 1968:42).

<sup>26</sup> Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios que las personas obtienen de la naturaleza (MEA, 2005).



periurbanos<sup>27</sup>. Este problema hace referencia a que estos territorios -generalmente forestales y agrícolas-, suelen ser destinados al uso urbano y la expansión de las actividades agropecuarias (Perevochtchikova, 2016; Rojo Negrete, 2018).

De continuar modificando el uso del suelo de los ecosistemas existentes en los territorios periurbanos, es probable que su capacidad de provisión de bienes y servicios ecosistémicos a las ciudades se reduzca (Sheinbaum, 2011). Algunas de las principales consecuencias ambientales asociadas a este problema son:

- Escasez de agua por la pérdida de la capacidad de captación del agua;
- Disminución de la vida silvestre y, en algunos casos, la extinción de especies de flora y fauna;
- Pérdida de la aptitud de captación de carbono de los suelos forestales, con propensión a la erosión y degradación del suelo.

El cambio de uso del suelo se acentúa aún más en las ciudades en crecimiento (Gómez-Baggethun y Barton, 2013). Tal ha sido el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Actualmente ya suman más de 21 millones de personas, colocándose entre las 10 ciudades más pobladas del mundo (ONU-HABITAT, 2018). La rápida expansión urbana de la Ciudad de México pone en riesgo a los ecosistemas a su alrededor (Jujnovsky et al., 2017; Perevochtchikova, 2016; Rojo Negrete, 2018; Sheinbaum, 2011).

La respuesta del gobierno de la CDMX ante este problema fue la creación de políticas de conservación ambiental, que se sustentaron a través de la regulación normativa y las implementación de programas de conservación ambiental (Ímaz Gispert, Camacho Lomelí, y Ruíz Gutiérrez, 2011; Pérez-Campuzano, Avila-Foucat, y Perevochtchikova, 2016; Sheinbaum, 2011). La principal acción que ha realizado el gobierno de la Ciudad de México fue la instauración, en la zona sur, del Suelo de Conservación (SC), como un espacio creado para friccionar la expansión de la mancha urbana, protegiendo a los ecosistemas ubicados allí, y propiciando la conservación de los servicios ecosistémicos existentes en esa zona (Ímaz Gispert et al., 2011; Santos, 2013; Sheinbaum, 2011). Aquí es meritorio señalar que, aproximadamente, el 70% del Suelo de Conservación se rige bajo el régimen de propiedad ejidal y comunal (Sánchez y Díaz-Polanco, 2011; Secretaría del Medio Ambiente, 2016). Este es un tipo de propiedad social -conocidos también como núcleos agrarios-, en la que un grupo de personas determina, a través de su asamblea general, las formas en que se gestiona un territorio que les ha sido designado (Moreno Lacalle, 2014; Pola-Villaseñor, Méndez-Lemus, y Vieyra, 2017; Van Dam, 1999). Actualmente, en el Suelo de Conservación existen 44 núcleos agrarios, los cuales cubren una superficie aproximada de 61 mil hectáreas (CIBIOGEM, 2019), y en donde conviven comuneros, ejidatarios, sus familiares (conocidos como originarios), y personas que han llegado a vivir ahí (avecindados).

En este contexto, algunos comuneros, ejidatarios y originarios de los núcleos agrarios del SC (e incluso algunos avecindados) suelen participar en las actividades de conservación (Caro-Borrero, Corbera, Neitzel, y Almeida-Leñero, 2015; Perevochtchikova, 2014; Reyes, 2019). Estas se refieren a las actividades que desempeñan ciertos grupos de personas para lograr la protección ecológica y evitar daños al ambiente y a los recursos naturales (SEDEMA, 2019); y son establecidas principalmente a través de las reglas de operación de los programas de conservación. Dado que estas labores propician la generación de servicios ecosistémicos, es posible aseverar que las actividades de conservación propician la coproducción de SE, ya que son parte de las interacciones entre los humanos y los sistemas ecológicos que resultan en servicios ecosistémicos (Eastwood y Fischer, 2016; Palomo, Felipe-Lucia, Bennett, Martín-López, y Pascual, 2016).

A pesar de todas las iniciativas de conservación ecológica, aún no se ha logrado detener los procesos de deterioro ambiental y de expansión urbana sobre el Suelo de Conservación, los cuales avanzan a 250 ha. al año (Aguilar y Escamilla, 2013; Perevochtchikova, 2014; Gaceta Oficial de la CDMX, 2019). Una de las principales razones por las que los programas de conservación han mostrado ineficiencia radica en que los planes de conservación suelen ser diseñados “desde arriba”, dejando a los que participan en las actividades de conservación solo la tarea de ejecución (Perevochtchikova, 2016; Rojo Negrete, 2018; Ibarra, Zambrano, Valiente, y Ramos-Bueno, 2013; Caro-Borrero et al., 2015; Neitzel et al., 2014; Ruíz-Mallén et al., 2017). Esto significa que no se toma en cuenta la opinión y experiencia de los mismos dueños de la tierra, quienes, de hecho, tienen la autonomía conferida para determinar si participan en las labores de conservación ambiental, o bien admiten la entrada la

---

<sup>27</sup> El territorio periurbano se refiere a la superficie que resulta de la interfase entre el campo y la ciudad; en ella coexisten diversos tipos de usos del suelo tales como agrícola, habitacional, industrial, etc. (Barsky 2014; de la Vega y Fernández 2017).



urbanización en sus territorios, sea mediante la venta o la renta de tierras parceladas (Perevochtchikova, 2016). Por lo tanto, es muy importante que los programas de conservación garanticen la inclusión de las opiniones y experiencias de aquellos que participan directamente en las actividades de conservación. Esto a través de explorar sus preferencias, es decir, las condiciones que resultan más adecuadas para realizar acciones de conservación en los territorios donde viven, de los cuales, a su vez, son propietarios (Merino Pérez, 2014).

Una de las principales maneras para visualizar las preferencias de las personas, así como para vislumbrar la importancia de los servicios ecosistémicos para la sociedad, es mediante una valoración económica (De Alba y Reyes, 1998; Pascual et al., 2010; Perman, R, Ma, Y., McGilvray, J., y Common, M. 2011). Esta es una herramienta de la economía ambiental que permite estimar el valor de los cambios en los bienes y servicios a través de las modificaciones en el bienestar de la sociedad (Ministerio del Ambiente, 2015; Perman et al., 2011). Existen diversos métodos para realizar valoraciones económicas de SE. Uno de estos métodos es el experimento de elección. Dicha técnica va más allá, presentando un número de escenarios a las personas entrevistadas para que elijan cual prefieren, con base en las bondades y atributos de dichas alternativas (Espinal y Gómez, 2011). La gran ventaja del método de EE es que no solo estima el valor económico, sino que también puede calificar, clasificar o seleccionar una alternativa que es más preferida por el encuestado (Mogas et al., 2006).

Con el experimento de elección, es posible estimar de manera más precisa los valores de uso y no uso - implícitos o marginales- de cada atributo de algún bien o servicio (en este caso, ecosistémico), y recopila de manera más exacta la disposición mínima a aceptar (DAA), ya que los atributos son establecidos previo a una labor de reconocimiento que incluye investigación cualitativa (observaciones, grupos focales, etc.), evitando con ello algún tipo de sesgo que surge con las preguntas aplicadas directamente, tales como respuestas falsas, aparición de opiniones protesta (en la que los individuos se niegan a tener DAA), y sesgos de comportamiento (free rider) (Espinal y Gómez, 2011; Hanley, Mourato, y Wright, 2001).

Una revisión bibliográfica constata que no han sido realizado dichos ejercicios en el Suelo de Conservación con el método de experimento de elección. En ninguno de ellos tampoco se ha incorporado el concepto de la coproducción de SE, y solo en algunos trabajos (no de valoración) se señala la importancia de incorporar la opinión de los dueños de la tierra en la estructuración de las políticas de conservación ambiental (Baumgardner, Varela, Escobedo, Chacalo, y Ochoa, 2012; Caro-Borrero et al., 2015; Caro Borrero et al., 2015; Neitzel et al., 2014; Pérez-Campuzano et al., 2016). Por lo tanto, esto da cabida al desarrollo de esta investigación con el enfoque que se está proponiendo.

En particular, la pregunta que guía el estudio es: ¿Cuáles son las condiciones más preferidas por los comuneros, ejidatarios y demás participantes para desempeñar las actividades de conservación ambiental, a fin de favorecer la coproducción de los servicios ecosistémicos que son generados en sus territorios, pertenecientes al Suelo de Conservación de la CDMX?

La hipótesis asume que los que participan en las labores de conservación en la zona suroeste de la CDMX prefieren recibir montos de compensación más altos. Asimismo, desean que las reglas de operación de los programas de conservación sean más claras para poder ejecutarlas cabalmente. Adicionalmente, desean que se les otorguen garantías para salvaguardar su integridad, tal como un seguro médico o mayor seguridad en la zona.

El objetivo de esta investigación es el de determinar las condiciones más preferidas por los comuneros, ejidatarios y otros participantes -originarios y avecindados-, para propiciar su participación en las labores de conservación ambiental en sus territorios. Con ellos se pretende identificar los factores que propician la coproducción de los servicios ecosistémicos que son generados en sus territorios.

Los objetivos particulares son:

- Caracterizar los principales SE de la zona;
- Explorar las preferencias de los comuneros, ejidatarios, originarios y avecindados de los núcleos agrarios participantes para desempeñar labores de conservación en sus territorios;
- Calcular el valor total económico de la superficie forestal de los núcleos agrarios que participan en la investigación.

## **Materiales y Métodos**

Para el desarrollo de esta investigación, se han considerado las recomendaciones plasmadas en el manual de Brouwer et al. (2017), así como los trabajos de Hanley et al. (2001) y De Valck et al. (2014). En este sentido, se han propuesto las siguientes etapas:

1. Exploración, análisis y sistematización de la información que se tiene sobre el caso de estudio; para establecer una caracterización de las condiciones del territorio a analizar. Se incorporan caracterizaciones

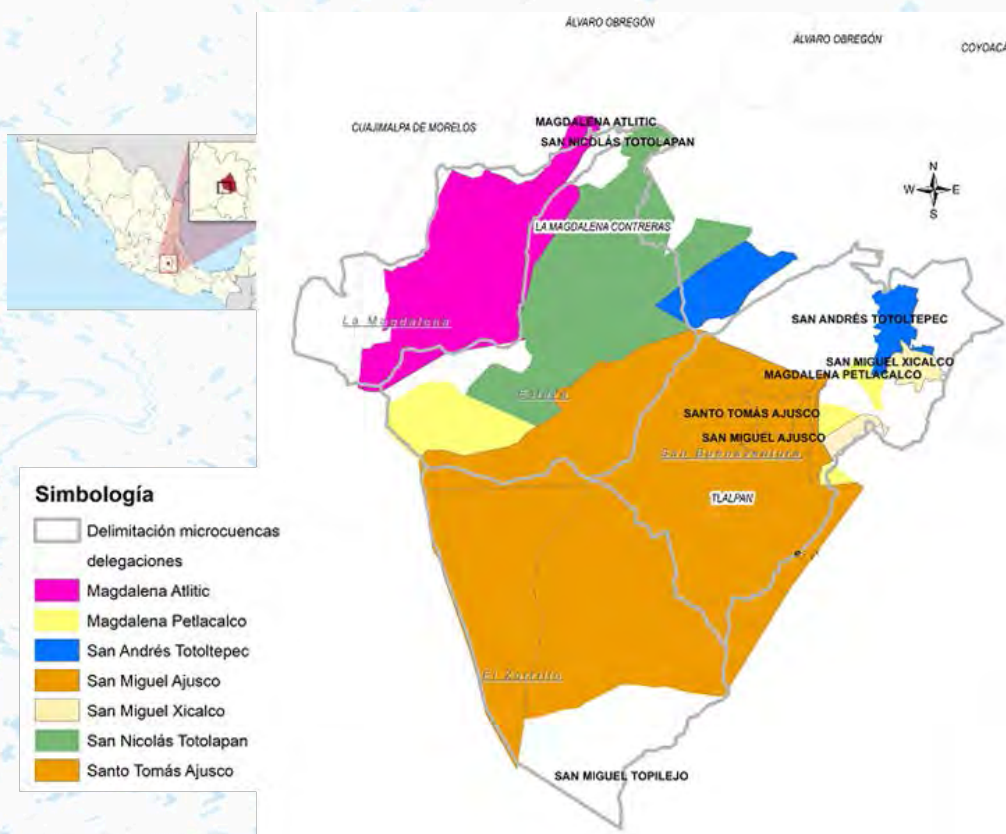
biofísicas y condiciones socioeconómicas de la población local, así como los programas de conservación gubernamental que se realizan en la zona;

2. Contacto con los actores que participan en la realización de actividades de conservación ambiental, y que por ende están realizando la coproducción de servicios ecosistémicos.
3. Exploración de las preferencias de los actores involucrados. Esto a partir de herramientas cualitativas como los grupos focales, complementadas con charlas informales;
4. Análisis de resultados del ejercicio de grupo focal, para establecer las pautas que han de ser incluidas en la encuesta del Modelo de Elección;
5. Diseño y ejecución de la encuesta;
6. Determinar el procedimiento de estimación de los resultados obtenidos, mediante el modelo logit condicional.

Por lo tanto, para ejecutar esta investigación, primero se ha realizado una exploración de información existente sobre el tema. Posteriormente se aplicó un ejercicio de grupo focal para explorar las preferencias de conservación de los individuos representativos. Tras haber analizado los resultados de dicho ejercicio, y echando mano de investigaciones similares, se propuso diseñar y ejecutar una encuesta que incluyera el experimento de elección y otras preguntas que explicaran las elecciones de los encuestados. Estas otras preguntas tuvieron que ver con el perfil del encuestado, sus conocimientos sobre sus actividades de conservación, las condiciones actuales en las que las realizan, sus intereses, y su situación socioeconómica. Los resultados fueron analizados mediante estadística descriptiva y el modelo logit condicional, y posteriormente puestos en análisis y discusión.

Para la realización de esta investigación, se tomaron en consideración cuatro núcleos agrarios con régimen de propiedad social de la tierra, ubicados en el Suelo de Conservación, en la zona suroeste de la CDMX (Figura 1). Estos fueron: las comunidades de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, La Magdalena Atlitlic, y los ejidos de San Nicolás Totolapan y San Andrés Totoltepec. Estos núcleos agrarios cubren una superficie aproximada de 12,973 ha (CIBIOGEM, 2019; PAOT-SEDEMA, 2012).

Figura 1. Núcleos agrarios de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia con datos del Atlas Geográfico del SC-CDMX PAOT-SEDEMA (2012) y Polígonos agrarios del RAN (s.f.)



## Resultados

Siguiendo los pasos propuestos por Hanley et al. (2001), y considerando que en el grupo focal se mencionaron los aspectos más relevantes que pueden incrementar el fomento a las actividades de conservación, se establecieron los siguientes atributos. Los parámetros de estos atributos fueron definidos y avalados a partir de los resultados del grupo focal y de las charlas informales (descritas en el apartado 4.1):

- El grado de incidencia de las asambleas comunitarias y ejidales en el diseño y estructuración de programas y planes de conservación ambiental, como una forma de hacerlos copartícipes de dichas implementaciones, pudiendo con ello colaborar con sus conocimientos y experiencias en tales actividades;
- El otorgamiento de equipamiento para realizar sus labores de conservación, así como asesoría técnica especializada para las diversas labores de monitoreo y preservación ambiental;
- El monto económico que incentive a las personas a dedicarse a las actividades de conservación;
- La transparencia, que se refiere a la forma en que se accede a la información sobre la manera en que se gestionan los recursos económicos de las comunidades.

En este sentido fueron creados 3 conjuntos de atributos generales con una serie de parámetros para cada uno de ellos. Uno de ellos (C) representó las condiciones actuales de conservación que imperan tras la entrada en vigor del programa “Altepetl” recién en enero del 2019 (*Status quo 2019*); en tanto que los otros dos (A y B) muestran mejoras con respecto al mismo (Tabla 1). Se consideró no incluir las condiciones que imperaban en el año 2018, debido a que la transición política ocurrida el 1° de diciembre de 2018 hacen inviable el retorno a tal escenario antiguo.

Tabla 1. Atributos y parámetros del experimento de elección

Atributos	Descripción	Parámetros		
		Conjunto A	Conjunto B	Conjunto C ( <i>status quo 2019</i> ) <sup>28</sup>
<b>Grado de Incidencia</b>	Grado de incidencia del conocimiento y opiniones de los comuneros y ejidatarios en el diseño de los programas de conservación ambiental.	Que el diseño de los programas de conservación ambiental Si esté sujeto a las opiniones y aval de las asambleas comunitarias/ejidales.	Que el diseño de los programas de conservación ambiental No esté sujeto a las opiniones y aval de las asambleas comunitarias/ejidales.	El diseño de los programas de conservación ambiental solo toma en cuenta algunas opiniones de las asambleas comunitarias/ejidales.
<b>Transparencia</b>	Forma en que se accede a la transparencia en la gestión de los recursos de las comunidades y ejidos.	Que la comisaría establezca un medio de comunicación transparente sobre la gestión de los recursos de los programas de conservación.	Que se realicen auditorías internas periódicas a la gestión de recursos que proviene de los programas de conservación.	Se pregunta a la comisaría sobre la manera en que se gestionan los recursos de los programas de conservación.
<b>Monto económico</b>	Cantidad monetaria que se está dispuesto a aceptar por realizar actividades de conservación.	\$10,000 pesos mensuales por persona.	\$8,000 pesos mensuales por persona.	\$6,000 pesos mensuales por persona.
<b>Equipamiento</b>	Forma en que se desea recibir los apoyos en equipamiento para la conservación.	Que se proporcione equipamiento y capacitación para su uso correcto.	Que se contraten técnicos de operación que estén disponibles para solucionar cualquier duda sobre el uso del equipo.	Se proporciona equipamiento sin dar capacitación ni asesoría sobre su uso.

<sup>28</sup> El programa “Altepetl” es una estrategia de gobierno de la Ciudad de México introducida en enero del 2019 (pero que fue efectiva a partir de mayo del mismo año) el cual busca la recuperación integral del Suelo de Conservación de la Ciudad de México. Su objetivo es el de apoyar las actividades encaminadas a conservar, proteger, restaurar y mantener los ecosistemas y agro-ecosistemas del Suelo de Conservación (CORENADR-SEDEMA, 2019).

Los conjuntos de atributos y sus parámetros incluidos en la Tabla 5 fueron combinados para la construcción de los escenarios del experimento de elección (Ryan, 2008). Se procedió a realizar un diseño ortogonal para obtener los subconjuntos de combinaciones más representativos. Con ello se aseguró que todas las opciones tuvieran la misma posibilidad de ser representadas, y que las variaciones entre los atributos de las alternativas no estuvieran correlacionadas en las combinaciones de elección. Tras haber realizado este análisis en el paquete estadístico IBM SPSS ([www.ibm.com](http://www.ibm.com)), se obtuvieron 9 escenarios representativos. Para evitar cansar a los participantes -y por ende sesgar los resultados-, se decidió subdividir los 9 escenarios en bloques de tres. A cada uno de ellos se les añadió el status quo 2019, que correspondieron a las reglas de operación del programa “Altepetl” recién implementadas en enero del 2019 (Gaceta Oficial de la CDMX, 2019) . Esta forma de agrupar los escenarios se basa en el análisis de clúster, el cual es un método de análisis multivariado estándar con el que se agrupa la información en conglomerados con características similares (Solarte-Martínez y Ocampo, 2009; en Carrasco Díaz, 2018).

A continuación, se procedió a elaborar un borrador de la encuesta. La versión preliminar fue probada en dos ejercicios piloto. El objetivo fue mejorar la formulación de las preguntas, calibrar las respuestas (para el caso de las de opción múltiple) y realizar pruebas estadísticas preliminares que dieran cuenta de la validez y fiabilidad del instrumento. Es meritorio señalar que el primer ejercicio piloto fue sometida a un análisis de fiabilidad mediante el índice Alfa Cronbach en el paquete estadístico SPSS, capturando las respuestas de las encuestas piloto. El índice fue de 0.686, y dado que este número resultó cercano a 1, se consideró aceptable. Replicando el mismo ensayo para la encuesta ajustada, se obtuvo un índice de 0.829, lo que muestra que la fiabilidad del cuestionario mejoró.

La ejecución de la encuesta en campo fue en abril de 2019. En ella participaron 71 personas de los núcleos agrarios de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, La Magdalena Atlitlic, San Nicolás Totolapan y San Andrés Totoltepec ; quienes realizan o han realizado acciones de conservación ambiental en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos (Gráfica 1 y Tabla 2) muestran que se prefiere que las asambleas generales comunitarias y ejidales (como parte del capital social) tengan incidencia en el diseño de las reglas de operación de los programas de conservación ambiental. Asimismo, se desea el otorgamiento de equipo y materiales (como capital manufacturado) para las labores de conservación, con la correspondiente capacitación para su uso (parte de capital humano). Estos dos atributos quedan por encima de la preferencia por obtener mayores montos de compensación (referente a capital financiero), en tanto que la exigencia por una mayor transparencia en cuanto a la gestión de los recursos económicos de los núcleos agrarios (capital social) quedó sin una tendencia aparente.

Gráfica 1. Elección de los escenarios por los encuestados

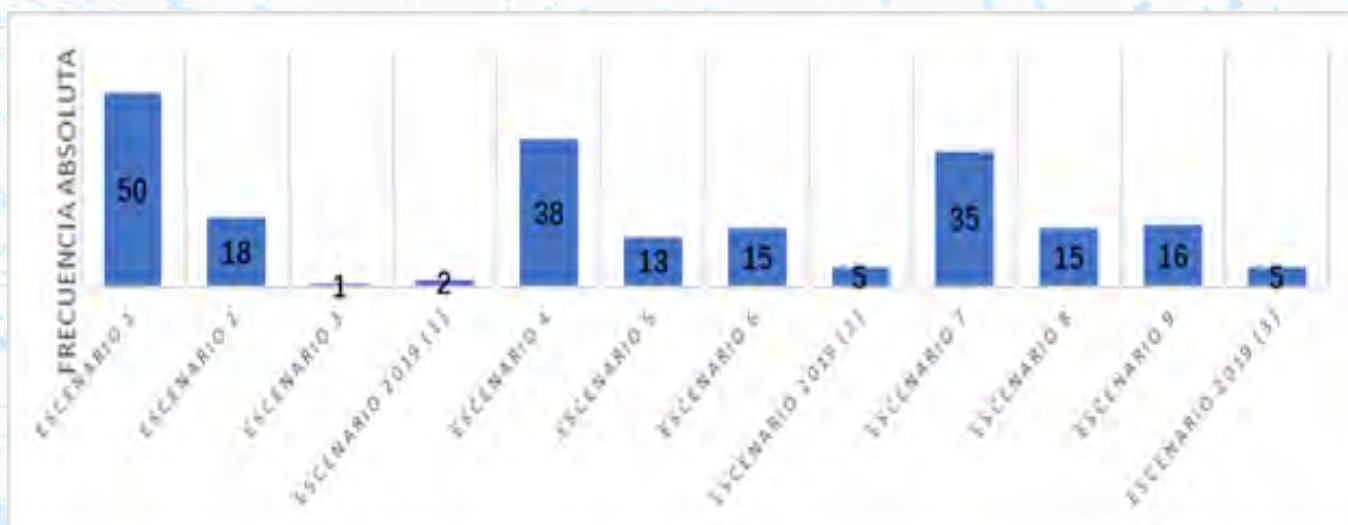




Tabla 2. Modelo logístico condicional de la encuesta

Regresión logística condicional (efectos fijos)				Número de observaciones	852	
				Prueba Chi² (LR chi2 (4))	99.23	
				Prob > chi2	0.0000	
				Pseudo R2	.1680	
Función de Verosimilitud = -245.66584						
decision	Coefficiente	Error estandar	z	P >  z	Intervalo con 95% de confianza	
Incidencia	.643664	.1002789	6.42	0.000	.4471211	.840207
Transparencia	.0040892	.091335	.04	0.964	-.1749241	.1831025
Monto	.0002606	.0001207	2.16	0.031	.0000241	.0004971
Equipamiento	.4575897	.0933607	4.90	0.000	.274606	.6405733

Se encontró también que los comuneros, ejidatarios y originarios participan en las actividades de conservación por gusto, por deseo de conservar los suelos naturales, y por contribuir a sus comunidades y ejidos. Estas son las razones por las que valoran sus zonas forestales y los servicios ecosistémicos que les proporcionan, denotando que su arraigo cultural, sus tradiciones como pueblos originarios y el aprendizaje que han ido adquiriendo y construyendo como comunidad/ejido son los que determinan el valor que le proporcionan a la naturaleza.

El monto mínimo que los participantes están dispuestos a aceptar por participar en la coproducción de servicios ecosistémicos es de \$7,859.15 pesos mensuales. Esta cantidad no es suficiente para cubrir las necesidades básicas de un hogar, ya que para ello se requiere de al menos \$12,432 pesos mensuales. Esto implicaría que al menos otra persona del mismo hogar debe trabajar para aportar ingresos suficientes a la familia. Esta sería la situación del 73% de los encuestados. En este sentido, la cantidad mínima necesaria para compensar las labores de conservación ambiental de hasta 352 participantes en la zona de estudio, desde el enfoque de la coproducción de los SE, es de aproximadamente 33 millones de pesos al año.

## Discusión y Conclusiones

En esta investigación se han aportado elementos que pudieran hacer más eficientes a las políticas de conservación ambiental que se implementan en la capital mexicana. Adicionalmente, se han aportado nuevas formas de pensar la conservación ambiental; asumiendo que las personas, con sus acciones, identidades y capacidades, también pueden participar en la generación de servicios ecosistémicos, y enfatizando que en las valoraciones económicas es necesario incorporar otros elementos más allá del monto económico de compensación.

Aunado a lo anterior, esta investigación ha corroborado lo propuesto en el enfoque IPBES, señalando que los distintos actores sociales otorgan diferentes valoraciones a la naturaleza y a sus beneficios, conforme a sus identidades y capacidades. También ha corroborado investigaciones similares en la zona de estudio. Además, se colaboró a reforzar la idea de que existe una disparidad en el acceso a la información entre líderes y comuneros/ejidatarios/originarios, lo que puede dar pautas para una dilapidación de la cohesión comunitaria.

En este trabajo también se ha determinado la necesidad de desarrollar más experimentos de elección, analizándolos con modelos mixtos o anidados. Asimismo, se propone realizar análisis sobre la manera en que las propuestas aquí planteadas pueden incorporarse en las normativas ambientales actuales (sea a nivel local o federal). Adicionalmente, se recomienda investigar sobre diseños más eficientes que recauden más recursos para la conservación de SE, desde el lado de los consumidores. Por último, también se sugiere continuar realizando investigaciones sobre los recursos y servicios ecosistémicos existentes tanto en la zona como en todo el Suelo de Conservación de la CDMX; y de ser posible, realizarlo también para otras áreas de la República Mexicana, dada la posibilidad de replicabilidad del ejercicio realizado.

Los programas de conservación ambiental deben buscar incorporar la visión y opiniones de aquellos que directamente las realizan. En especial si se trata de los mismos dueños de la tierra. Incorporar sus juicios no solo representa un esfuerzo por reconocer su labor, sino también para establecer estrategias más acordes con la realidad, para lograr alcanzar el objetivo de conservar los espacios territoriales forestales -muy necesarios en zonas periurbanas. Con ello se evita la venta o arrendamiento de tierras que terminen siendo destinadas para uso agrícola



o de construcción de edificaciones, y se logra fomentar la calidad y cuantía de los servicios ecosistémicos que se ofrecen en la zona.

## Agradecimientos

Agradezco profundamente a las brigadas de conservación que me permitieron realizar las encuestas, especialmente a Moisés Reyes Flores, Jorge García Martínez, Pedro García Sandoval, Raymundo Rojas Rodríguez, Moisés Alamilla, Elizabeth Mireles y otros. También Agradezco a la Dra. María Perevochtchikova y al Dr. Gustavo Pérez Verdín por su asesoría en esta investigación, asimismo, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca proporcionada para la maestría; así como por los apoyos obtenidos por el proyecto 290832 “Trajectories of social-ecological systems in Latin American Watersheds: Facing complexity and Vulnerability in the context of Climate Change (TRASSE)”, ANR-CONACYT. También, agradezco a la Fundación Kaluz por facilitar la realización de mi movilidad nacional.

Para más información, consultar la tesis correspondiente.

## Literatura citada

- Aguilar Martínez, A. G. (2016). Introducción: la nueva transición urbana de la Ciudad de México en el Siglo. In A. G. Aguilar Martínez (Ed.), *La Ciudad de México en el Siglo XXI, Realidades y Retos* (pp. 11–25). Ciudad de México: Miguel Ángel Porrua. Retrieved from <http://data.seciti.cdmx.gob.mx/transparencia/sites/default/files/articulosnuevo/La ciudad de Mexico.pdf>
- Barsky, A. (2014). *Gestionando la diversidad del territorio periurbano desde la complejidad de las instituciones estatales*. Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Filosofia y Letras/Departamento de Geografía. Retrieved from <http://ddd.uab.cat/record/118629>
- Baumgardner, D., Varela, S., Escobedo, F. J., Chacalo, A., & Ochoa, C. (2012). The role of a peri-urban forest on air quality improvement in the Mexico City megalopolis. *Environmental Pollution*, 163, 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.016>
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293–301.
- Brouwer, R., Bennett, J., Hanemann, W. M., Scarpa, R., Ryan, M., Adamowicz, W. (Vic), ... Tourangeau, R. (2017). Contemporary Guidance for Stated Preference Studies. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(2), 319–405. <https://doi.org/10.1086/691697>
- Camaño, Z., Clerici, N., Danilo, J., De Barrera, F., Dobbs, C., Eleuterio, A. A., ... Vásquez, A. (2018). Urban ecosystem Services in Latin America: mismatch between global concepts and regional realities? *Urban Ecosystems*, (October). <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0805-3>
- Caro-Borrero, A., Corbera, E., Neitzel, K. C., & Almeida-Leñero, L. (2015). “We are the city lungs”: Payments for ecosystem services in the outskirts of Mexico City. *Land Use Policy*, 43, 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.11.008>
- Caro-Caro, C., & Torres-Mora, M. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Grupo de Investigación GIGAS, Instituto de Ciencias Ambientales de La Orinoquia Colombiana, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de Los Llanos, Villavicencio, Colombia*, 19(2), 16. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v19n2/v19n2a11.pdf>
- Caro Borrero, A., Carmona Jiménez, J., González Martínez, T., & Mazari Hiriart, M. (2015). Hydrological evaluation of a peri-urban stream and its impact on ecosystem services potential. *Global Ecology and Conservation*, 3, 628–644. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.02.008>
- Chang, M. Y. (2005). La economía ambiental. In *Colección América Latina y el Nuevo Orden Mundial* (pp. 175–188). Retrieved from [http://estudiosdeldesarrollo.net/coleccion\\_america\\_latina/sustentabilidad/Sustentabilidad9.pdf](http://estudiosdeldesarrollo.net/coleccion_america_latina/sustentabilidad/Sustentabilidad9.pdf)
- CIBIOGEM. (2019). *La agricultura campesina y la agrobiodiversidad en el suelo de conservación de la Ciudad de México*. Ciudad de México.
- Cristeche, E., & Penna, J. A. (2008). *Métodos de valoración económica de los servicios ambientales*. (I. de E. y S. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ed.), *Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales* (Vol. 3). Buenos Aires, Argentina.
- de Alba, E., & Reyes, M. E. (1998). Valoración económica de los recursos biológicos del país. In *La biodiversidad biológica de México: estudio de país 1998* (pp. 211–234). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso



- de la Biodiversidad. Retrieved from <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/divBiolMexEPais1.pdf>
- de la Vega, S., & Fernández, P. (2017). ¿Lo rural en lo urbano? Localidades periurbanas en la zona metropolitana del valle de México. *Eure*, 43(130), 185–206. <https://doi.org/10.4067/s0250-71612017000300185>
- De Valck, J., Vlaeminck, P., Broekx, S., Liekens, I., Aertsens, J., Chen, W., & Vranken, L. (2014). Benefits of clearing forest plantations to restore nature? Evidence from a discrete choice experiment in Flanders, Belgium. *Landscape and Urban Planning*, 125, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.006>
- Eastwood, A., & Fischer, A. (2016). Coproduction of ecosystem services as human-nature interactions-An analytical framework. *Land Use Policy*, 52, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.12.004>
- Espinal, G. N. E., & Gómez, Z. J. D. (2011). Experimentos de elección: una metodología para hacer valoración económica de bienes de no mercado. *Ensayos de Economía*, (38), 211–242.
- Gaceta Oficial de la CDMX, . Aviso por el cual, se dan a conocer las Reglas de Operación del “Programa Altepétl”, para el Ejercicio Fiscal 2019 (2019). Ciudad de México: Organo de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México.
- Gómez-Baggethun, Eric, & de Groot, R. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Revista Ecosistemas*, 16(3), 4–14. <https://doi.org/10.7818/re.2014.16-3.00>
- Gómez-Baggethun, Erik, & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
- Hanley, N., Mourato, S., & Wright, R. E. (2001). Choice Modelling Approaches: A Superior Alternative for Environmental Valuation? *Journal of Economic Surveys*, 15(3), 435–462. <https://doi.org/10.1111/1467-6419.00145>
- Ibarra, A. A., Zambrano, L., Valiente, E. L., & Ramos-Bueno, A. (2013). Enhancing the potential value of environmental services in urban wetlands: An agro-ecosystem approach. *Cities*, 31, 438–443. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.08.002>
- Ímaz Gispert, M., Camacho Lomelí, R., & Ruíz Gutiérrez, E. (2011). Política pública ambiental en la Ciudad de México. Suelo de Conservación: una ruta ambientalmente incorrecta. In M. Perevochtchikova & E. Pérez-Campuzano (Eds.), *Suelo de Conservación del Distrito Federal ¿Hacia una gestión y manejo sustentable?* (First, pp. 39–52). Ciudad de México: Porrua.
- Jujnovsky, J., Ramos, A., Caro-Borrero, Á., Mazari-Hiriart, M., Maass, M., & Almeida-Leñero, L. (2017). Water assessment in a peri-urban watershed in Mexico City: A focus on an ecosystem services approach. *Ecosystem Services*, 24, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.005>
- Merino Pérez, L. (2014). Perspectivas sobre la gobernanza de los bienes y la ciudadanía en la obra de Elinor Ostrom. *Revista Mexicana de Sociología*, 76(5), 77–104.
- Ministerio del Ambiente, P. (2015). *Manual De Valoración Económica Del Patrimonio Natural*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mogas, J., Riera, P., & Bennett, J. (2011). A Comparison of Contingent Valuation and Choice Modelling: estimating the environmental values of Catalanian Forests. *ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND DEVELOPMENT OCCASIONAL PAPERS*, (January), 1–24.
- Moreno Lacalle, A. A. (2014). *La personalidad jurídica de los núcleos agrarios*. Universidad Panamericana, Facultad de Derecho. Retrieved from <http://biblio.upmx.mx/tesis/157771.pdf>
- Neitzel, K. C., Caro-Borrero, A. P., Revollo-Fernandez, D., Aguilar-Ibarra, A., Ramos, A., & Almeida-Leñero, L. (2014). Paying for environmental services: Determining recognized participation under common property in a peri-urban context. *Forest Policy and Economics*, 38, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2013.04.002>
- ONU-HABITAT. (2016). *Urbanization and development Emerging Futures*. Nairobi, Kenia. Retrieved from [www.unhabitat.org](http://www.unhabitat.org)
- ONU-HABITAT. (2018). Superficie de CDMX crece a ritmo tres veces superior al de su población. Retrieved December 1, 2018, from <http://onuhabitat.org.mx/index.php/superficie-de-cdmx-crece-a-ritmo-tres-veces-superior-al-de-su-poblacion>
- Palomo, I., Felipe-lucia, M. R., Bennett, E. M., Martín-lópez, B., & Pascual, U. (2016). Disentangling the Pathways and Effects of Ecosystem Service. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.09.003>
- Pascual, U., Muradian, R., Brander, L., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., & Verma, M. (2010). The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*.



- Ecological and Economic Foundations*, (March), 183–255. <https://doi.org/10.4324/9781849775489>
- Perevochtchikova, M. (2014). *Pago por servicios ambientales en México, un acercamiento para su estudio*. Ciudad de México.
- Perevochtchikova, M. (2016). *Estudio de los efectos del programa de pago por servicios ambientales. Experiencia en Ajusco, México*. Ciudad de México: El Colegio de México A.C.
- Pérez-Campuzano, E., Avila-Foucat, V. S., & Perevochtchikova, M. (2016). Environmental policies in the peri-urban area of Mexico City: The perceived effects of three environmental programs. *Cities*, 50, 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.08.013>
- Perman, R., Yue Ma, J. M. and M. C. (2011). *Natural resource and environmental economics*. United Kingdom.
- Pisanty, I., Mazari, M., & Ezcurra, E. (2009). El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas. *Capital Natural de México Vol. II: Estado de Conservación y Tendencias de Cambio, II*, 719–759. <https://doi.org/10.5380/dma.v35i0.43906>
- Pola-Villaseñor, S., Méndez-Lemus, Y., & Vieyra, A. (2017). Acceso al suelo ejidal periurbano: análisis desde el capital social. *Economía, Sociedad y Territorio*, XVII(54), 429–460. <https://doi.org/10.22136/est002017728>
- Rojó Negrete, I. A. (2018). *Evaluación del Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en la Comunidad de San Miguel y Santo Tomas Ajusco, 2004- 2017*. Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Geografía.
- Ruíz-Mallén, I., Caro-Borrero, A., Almeida-Leñero, L., Revollo-Fernández, D., Cobrera, E., Figueroa, F., & Mazari-Hiriart, M. (2017). Not the same for everyone: Community views of Mexico's payment for environmental services programmes. *Environmental Conservation*, 44(03), 201–211. <https://doi.org/10.1017/s0376892916000564>
- Sánchez, C., & Díaz-polanco, H. (2011). Pueblos , comunidades y ejidos en la dinámica ambiental de la Ciudad de México. *Cuicuilco*, 18(52), 191–224.
- Santos, C. (2013). Interacciones y tensiones entre la expansión urbana y el suelo de conservación. In A. G. Aguilar & I. Escamilla (Eds.), *La sustentabilidad en la Ciudad de México. El suelo de conservación en el Distrito Federal* (First, pp. 67–108). Ciudad de México: Miguel Ángel Porrua.
- Secretaría del Medio Ambiente, G. de la C. de M. (2016). *Suelo de Conservación*. Ciudad de México: Comisión de Recursos Naturales, SEDEMA, GCDMX. Retrieved from [https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Libro\\_Suelo\\_de\\_Conservacion.pdf](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Libro_Suelo_de_Conservacion.pdf)
- Sheinbaum, C. (2011a). La compleja problemática del Suelo de Conservación. In E. Pérez-Campuzano, S. Ávila Foucat, & M. Perevochtchikova (Eds.), *Suelo de Conservación del Distrito Federal ¿Hacia una gestión y manejo sustentable?* (First, pp. 19–38). Ciudad de México: Miguel Ángel Porrua.
- Sheinbaum, C. (2011b). La compleja problemática del Suelo de Conservación del Distrito Federal: Apuntes para su conservación. In M. Perevochtchikova, E. Pérez-Campuzano, & S. Ávila Foucat (Eds.), *Suelo de Conservación del Distrito Federal ¿Hacia una gestión y manejo sustentable?* (pp. 13–38). Ciudad de México: Miguel Ángel Porrua/Instituto Politécnico Nacional.
- Unikel, L. (1968). Distribución y crecimiento de la población. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 2(2), 139–182. Retrieved from <https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/46/39>
- Van Dam, C. (1999). *La Tenencia de la Tierra en América Latina. El Estado del Arte de la Discusión en la Región*.



# **ID-262: COMPLEMENTARIEDAD ENTRE SITIOS PRIORITARIOS EN LA PLANEACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS DE LA RIVIERA MAYA, QUINTANA ROO, MÉXICO**

Juan Alberto Aguilar-Sánchez<sup>a</sup>, Melanie Kolb<sup>b</sup>

<sup>a</sup>UNAM, Instituto de Geografía, Geografía Física, email: [juan\\_aguilar@ciencias.unam.mx](mailto:juan_aguilar@ciencias.unam.mx)

<sup>b</sup>UNAM, Instituto de Geografía, Geografía Física, email: [melanesien@gmail.com](mailto:melanesien@gmail.com)

## **RESUMEN**

Uno de los principales retos en los estudios de conservación es cómo asignar eficientemente los recursos disponibles para el establecimiento de áreas naturales protegidas (ANP). Con el auge del marco conceptual de los servicios ecosistémicos, se resalta la necesidad de incluirlos en la planeación de la conservación de áreas naturales en conjunto con la biodiversidad. Sin embargo, las implicaciones de su inclusión en el diseño aún son debatidas ya que, se ha observado un nivel variable de coincidencia espacial entre ambos que, a su vez, puede generar conflictos de interés. Con el fin de evaluar la relación espacial que hay entre servicios ecosistémicos hidrológicos (SEH) y biodiversidad y encontrar posibles soluciones ante el conflicto entre ambos durante la planeación, se generaron modelos de sitios prioritarios para la conservación para la Riviera maya, Quintana Roo, México.

Con ayuda del algoritmo de optimización MARXAN 1.8 se generaron tres modelos de sitios prioritarios: a) Biodiversidad, b) SEH y c) la integración simultánea de ambos componentes. Los resultados muestran que los sitios prioritarios para SEH demandan una menor área en comparación de los sitios prioritarios para biodiversidad (30% y 36% del área de estudio respectivamente), sin embargo, al integrar ambos componentes, el área requerida no incrementa y se mantiene igual al de biodiversidad (36%). El modelo de sitios prioritarios de biodiversidad logra representar adecuadamente un 88% de los elementos, mientras que el de SEH logra representar el 100%. Cuando se integran ambos componentes en un mismo modelo, se logra representar el 91% de los elementos de biodiversidad y el 91% de los elementos de SEH de forma simultánea.

Los sitios prioritarios de biodiversidad y SEH presentan poca coincidencia espacial (18%); los sitios de importancia para SEH tienden a ubicarse cerca de los asentamientos humanos, mientras que los de biodiversidad los evitan. Aunque existe este patrón, los resultados obtenidos al integrar ambos componentes en un mismo modelo muestran que, al menos para el área de estudio, existe una alta posibilidad de alinear acciones de conservación a nivel regional.

**Palabras clave:** Priorización espacial de la conservación, evaluación para la conservación, servicios ecosistémicos, karst, planeación para recursos hidrológicos.

## **1 INTRODUCCIÓN**

Los proyectos de planeación de la conservación han considerado tradicionalmente datos de biodiversidad como principal insumo para la identificación de prioridades (Margules y Pressey, 2000; Margules et al., 2002; Kullberg y Moilanen 2014), sin embargo, gracias a la popularidad actual del concepto, los servicios ecosistémicos (SE) se han logrado incorporar como un insumo en la gestión para la conservación (Balvanera et al., 2001; Chan et al., 2006; Egoh et al., 2007; Goldman et al. 2008; Luck et al., 2012; Cimon-Morin et al. 2014).

El término de SE hace referencia a todos los bienes y servicios que la sociedad obtiene directa o indirectamente de los ecosistemas (MEA, 2005) y puede definirse como “las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que lo constituyen, sustentan y satisfacen a la vida humana” (Daily, 1997). El concepto de SE describe un marco conceptual que permite vincular la función y los procesos ecosistémicos con el bienestar humano (Daily, 1997; De Groot, 2002; MEA, 2005; Costanza et al., 2008).

Aunque el reconocimiento de su importancia y su popularidad hayan favorecido el auge de los SE dentro de la gestión de áreas naturales en la última década (Goldman et al. 2008; Cimon – Morin, 2013), existe escepticismo en cuanto a su utilidad debido a que son relativamente pocos los esfuerzos que han explorado cuáles



son las implicaciones de este enfoque para la planeación y la conservación en general (Goldman y Tallis, 2009; Cimon – Morin, 2013; Cimon – Morin, 2016). Tal vez la principal crítica es que no siempre llega a ser un enfoque idóneo para conservar biodiversidad (Schwartz et al. 2000; McCauley, 2006; Balvanera et al., 2001; Cimon – Morin, 2013). En general, los conflictos entre la conservación de ambos ocurren debido a que los enfoques relacionados a SE no buscan como objetivo final la conservación de todos los elementos espaciales de biodiversidad, sino sólo de aquellos relacionados con el mantenimiento y maximización de procesos relacionados a algún tipo de beneficio específico y a sus usuarios (De Groot, 2002; Chan et al. 2006; Fisher et al., 2009; Cimon – Morin, 2013).

Al ser diferentes, los enfoques de planeación de biodiversidad y SE generan sitios prioritarios distintos que no necesariamente coinciden (Chan et al. 2006; Naidoo et al., 2008; Larsen et al., 2011; Cimon – Morin, 2013; Girardello et al., 2019). La correspondencia espacial entre las prioridades de conservación de biodiversidad y SE suele ser dependiente de la escala y del contexto, pero general se ha encontrado que los sitios no suelen coincidir o tienen un traslape moderado (Chan et al. 2006; Naidoo et al., 2008; Cimon-Morin et al. 2013). Debido a que utilizar un solo tipo de enfoque no suele ser necesario para representar adecuadamente SE y biodiversidad de forma simultánea (Cimon – Morin, 2013; Girardello et al., 2019), se recomienda evaluar sitios prioritarios de forma conjunta y separada para poder generar un marco de referencia que ayude a visualizar los posibles escenarios de costo y beneficio de anteponer un enfoque sobre otro (Naidoo et al., 2008).

La protección de la biodiversidad no tiene posibilidades si compite directamente con otras necesidades humanas (Rosenzweig, 2003); si la atención de los proyectos y financiamiento se centra de manera prominente en enfoques de planeación basados en la conservación SE, sin evaluar sus implicaciones para la biodiversidad, existe un mayor riesgo de que esta se vea perjudicada (Girardello et al., 2019). Identificar la congruencia espacial y complementariedad entre ambos enfoques es entonces, fundamental para coordinar la posible alineación espacial de las acciones de conservación y de esta forma lograr un equilibrio adecuado (Naidoo et al., 2008; Reyers et al., 2012; Cimon – Morin, 2013; Cimon-Morin et al., 2016; Girardello et al., 2019).

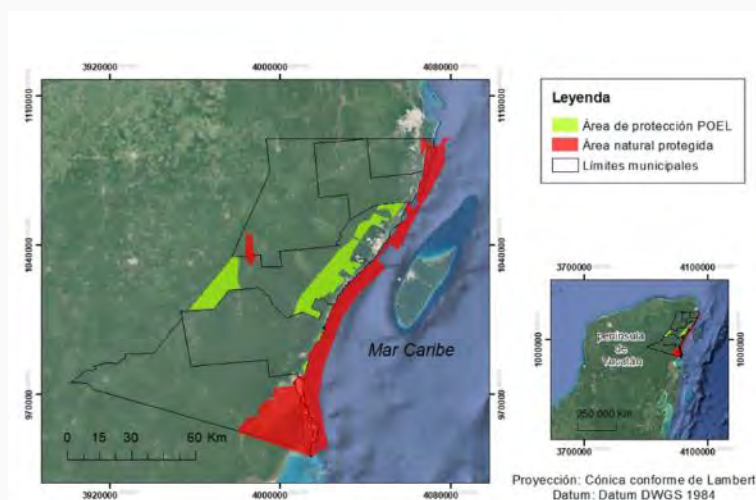
Para evaluar las posibles implicaciones de incluir a los SE dentro de la planeación para la conservación, este estudio propone hacer un análisis de priorización para la conservación de SE en una región conocida como “la Riviera Maya”, una parte de la península de Yucatán (PY) ubicada en el estado de Quintana Roo, México que presenta un gran crecimiento económico y demográfico debido al turismo. El sistema hidrológico de la PY sostienen diferentes ecosistemas, incluidos humedales, bosques tropicales y uno de los sistemas de arrecifes de coral más grandes del mundo (Bauer-Gottwein et al., 2011; Hernández-Arana et al., 2015). La creciente degradación de los recursos hidrológicos es alarmante debido a que el lente de agua dulce subterráneo es prácticamente la única fuente de agua potable en toda la península (Doehring y Butler, 1974; Marsily, 1992; Escolero et al., 2000; Lutz et al., 2000; Schmitter-Soto et al., 2002; Marín, 2008) y que la riqueza biológica es la principal detonante de la actividad económica (Rubio et al., 2010; Bauer-Gottwein et al., 2011; Hernández-Terrones et al., 2011).

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudio**

Se delimitó un polígono de 10184.6 km<sup>2</sup> que se encuentra en la parte norte y central del estado de Quintana Roo (Fig. 1). Esta área corresponde a su vez, a la zona central del sistema de fracturas de *Holbox*, la cual discurre en dirección norte-noreste a sur-suroeste hacia el punto de inicio de los acolinamientos en la costa, entre los 50 y 70 msnmm en la parte central y en la porción sur en zonas con lomeríos (Fragoso et al. 2014).





**Figura 1.** Localización del área de estudio y ubicación de las áreas de conservación

## 2.2. Insumos de biodiversidad y SEH

La búsqueda de información espacial de biodiversidad se enfocó a tres tipos de datos disponibles para el área de estudio: 1) polígonos de distribución potencial, 2) registros puntuales y 3) subrogados. Para los polígonos de distribución potencial y registros, se revisaron todos los datos disponibles en el Geoportal de la CONABIO (CONABIO-SNIB; Enciclopedia, 2019) y se realizó una consulta al Servicio Global de Información para la Biodiversidad (GBIF). Para la parte de subrogados (Groves et al., 2002), se incorporaron los siguientes elementos: 1) los tipos de vegetación (CONABIO, 2016; CONABIO-INEGI, 2018); 2) cuerpos de agua epicontinentales (CONABIO, 2007; Lira et al., 2015; CCT et al., 2017; Lamarche et al., 2017; CONABIO-INEGI, 2018); y 3) un polígono ubicado entre la línea costera y 15 km tierra adentro, considerada como un área de hábitat crítico para fauna estigobionte (Álvarez e Iliffe, 2008).

Para la parte de SE, debido a la importancia ecológica y económica de los sistemas acuáticos en esta región, el estudio se enfocó en servicios ecosistémicos hidrológicos (SEH). Los SEH se definen como todos aquellos beneficios que son producidos por el efecto que tienen los procesos ocurridos en los ecosistemas terrestres y acuáticos sobre el agua dulce, ya sea superficial o subterránea (Brauman et al., 2007; Brauman et al., 2014; Gribber y Avramov, 2015). Se consideraron los elementos espaciales relacionados específicamente a dos componentes: 1) SEH de provisión (hace referencia al suministro de agua en cantidad); y 2) SEH de regulación (se refiere a la forma en que los ecosistemas terrestres afectan el flujo y el funcionamiento de los sistemas hidrológicos) (Brauman et al., 2007; Brauman et al., 2014). Para el análisis prioritario se incluyeron 12 elementos espaciales relacionados a las áreas de oferta y demanda de SEH en donde se incluyeron: 1) diferentes tipos de cobertura del suelo (CONABIO, 2007; Lira et al., 2015; CONABIO, 2016; CCT et al., 2017; Lamarche et al., 2017; CONABIO-INEGI, 2018); 2) diferentes estructuras geológicas y topográficas asociadas a la infiltración (INEGI, 2002); 3) áreas de vulnerabilidad del karst (Morales-Lopez, 2007); 4) áreas de extracción de agua (CONAGUA-REPDA); y 5) un modelo espacial de infiltración. El modelo de infiltración se obtuvo a una resolución de 1 km<sup>2</sup> y se generó a partir de la diferencia media anual de la precipitación (Fick y Hijmans, 2017) menos la evapotranspiración actual del suelo (Trabucco y Zomer, 2010).

## 2.3 Análisis prioritario

Se generaron tres modelos de sitios prioritarios: uno de biodiversidad (*a*), uno de SEH (*b*) y su combinatoria (*ab*), estos fueron creados con ayuda del algoritmo de recocido simulado del software MARXAN v.2.4 (Ball y Possingham, 2000), el cual es un algoritmo heurístico de optimización espacial que fue desarrollado para encontrar sistemas de sitios prioritarios para el cumplimiento de objetivos de conservación y que sean cohesivos espacialmente (Ball et al., 2009). Para crear cada modelo, en cada caso se generaron 10,000 corridas con 1,000,000 de iteraciones cada una.



Los valores para la representación de elementos de conservación se expresaron como un porcentaje del área total de cada uno (Soulé y Sanjayan, 1998). Para los elementos de biodiversidad, estos los valores se calcularon, según el caso, con base en: 1) sus atributos de distribución (medido como el grado de rareza y/o endemismo según el área ocupada y la ubicación: local, regional o nacional); y 2) categorías de riesgo de extinción o prioridad según las normas nacionales e internacionales (SEMARNAT, 2010; IUCN; CONANP, 2013; y CITES). Para el caso de los elementos de SEH, los valores de representación se ponderaron, según el caso, con base en: 1) sus atributos de distribución relativos al área de estudio; 2) en el aporte relativo de agua infiltrada anualmente por cada tipo de cobertura; y 3) el aporte relativo del agua extraída anualmente por cada tipo de cobertura.

Para los modelos (*a*) y (*ab*), se integró un mapa de amenazas para la biodiversidad. Este mapa se generó a partir de los siguientes criterios: 1) la ubicación se consideraron áreas urbanas (INEGI, 2010b; CONABIO-INEGI, 2018); 2) el inverso de la integración ecológica (Equihua et al., 2014); 3) densidad poblacional (INEGI, 2010a); 4) uso agropecuario (CONABIO-INEGI, 2018); y 5) densidad de caminos (IMT, 2010). El grado de amenaza de las soluciones se definió como un porcentaje del valor de amenaza total que implicaría tomar para conservar toda el área de estudio. Para el caso específico de los modelos (*b*) y (*ab*), debido a que la planeación para la conservación de SE requiere del acoplamiento espacial de las áreas donde ocurren los procesos ecológicos con las áreas donde se encuentran los usuarios que obtienen beneficio de ellos (Chan et al. 2006; Fisher et al., 2009; Verhagen et al., 2017), las áreas donde ocurre la extracción de agua fueron utilizadas *a priori* para delimitar el sistema de reservas.

Para categorizar la prioridad de los sitios, se utilizó la mejor solución encontrada por MARXAN para cada modelo (*a*, *b* y *ab*); se ordenaron las áreas por frecuencia de selección de mayor a menor. Posteriormente, se sumó de forma acumulativa el área y las metas cumplidas en cada caso. Cuando se alcanzó el número de metas máximo, ese subconjunto se dividió en terciles. Los sitios del primer tercil se definieron como sitios de “Extrema” importancia, los del segundo cuartil “Alta”, los del tercero “Media”. Los sitios sobrantes se clasificaron como de prioridad “Baja”. Para los casos específicos de *b* y *ab*, con el fin de no considerar *a priori* todos los sitios de demanda como de extrema prioridad, los terciles se calcularon solo con las áreas que presentaron una frecuencia de selección menor a 10,000.

### 3 RESULTADOS

El modelo de biodiversidad requiere de una mayor área (36% del área de estudio) en comparación del modelo de SEH (30%) (Tabla 1). En cuanto al cumplimiento de objetivos cuantitativos, el modelo de biodiversidad solo logra representar adecuadamente el 88% de los elementos, mientras que el modelo de SEH logra representar el 100%. Existen notables diferencias en cuanto a la configuración espacial de los sitios prioritarios y al grado de amenaza que implican. Los sitios prioritarios de SEH presentan una distribución más uniforme que los de biodiversidad y tienden a conglomerarse cerca de las áreas de demanda (Fig. 2). Los sitios prioritarios de biodiversidad tienden a conglomerarse más cerca de la parte central, norte y sur del área de estudio. El grado de amenaza del modelo de biodiversidad presenta un valor del 0%, mientras que el modelo de SEH presenta un valor del 11%.

Al integrar biodiversidad y SEH en un mismo modelo, el área requerida es del 36% del área de estudio y el grado de amenaza es de un 28%. En el caso del cumplimiento de objetivos cuantitativos, dicho modelo logra representar adecuadamente el 91% de los elementos de biodiversidad y el 91 de los elementos de SEH (Tabla 1). En cuanto a la configuración, los sitios prioritarios se encuentran distribuidos uniformemente a lo largo de toda el área de estudio, aunque son menos frecuentes en la parte suroeste, similar a como ocurre en el modelo de biodiversidad (Fig. 2). El modelo *ab* presenta casi la misma coincidencia espacial con los modelos *a* y *b* (31% y 30% de coincidencia respectivamente).



Tabla 1. Comparación entre modelos, los cálculos se hicieron tomando en cuenta las áreas de demanda de SEH*			
Modelo	Área (% del área de estudio)	Amenaza (% del total del área de estudio)	Objetivos cuantitativos (% de elementos representados adecuadamente)
<i>a</i>	36	0	88
<i>b</i> *	30	45	100
<i>ab</i> *	36	28	92 (91% de biodiversidad y 91% de SEH)
<i>a + b</i> *	56	45	> 92

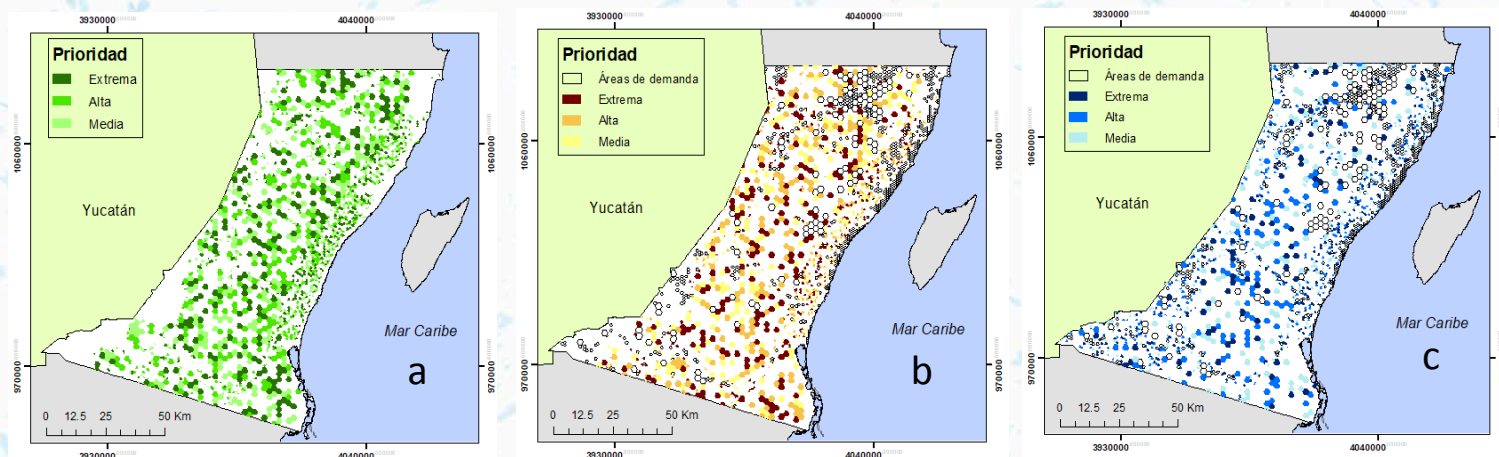


Figura 2. Modelos de sitios prioritarios, a) Biodiversidad (*a*); b) SEH (*b*); y c) Combinatoria (*ab*). Proyección: Cónica conforme de Lambert, Datum: Datum DWGS 1984

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La coincidencia espacial entre sitios de los modelos *a* y *b* es de solo el 18% y utilizarlos por separado implicaría conservar el 56% del total del área de estudio. La poca correspondencia espacial entre sitios prioritarios de biodiversidad y SEH es similar a lo encontrado en la literatura (Cimon-Morin et al. 2014), y en principio, habla de un escenario donde es fácil que ocurran conflictos en la planeación en cuanto a la asignación de recursos económicos y el espacio. La poca correspondencia puede deberse principalmente a la capa de amenazas y a las áreas de demanda de SEH. La capa de amenazas propicia que los sitios prioritarios de biodiversidad se coloquen lejos de las áreas de mayor influencia antrópica, en el caso del modelo de SEH por el contrario, el hecho de que se incluyeran las áreas de mayor demanda *a priori*, condiciona que: 1) los sitios prioritarios se conglomeren más cerca de los asentamientos humanos, y 2) el modelo presente un mayor grado de amenaza. Las áreas de demanda

en general, tienden a presentar un mayor impacto antrópico debido a la presencia de poblados, infraestructura, carreteras y otros factores que ayudan a facilitar el acceso al agua.

Aunque los sitios prioritarios de biodiversidad y SEH sean diferentes, al incluir ambos componentes en un mismo modelo, este conflicto disminuye. El modelo *ab* presenta ventajas con respecto a la suma de los modelos individuales en cuanto a área requerida, grado de amenaza y representación de objetivos cuantitativos (Tabla 1). Esto muestra que es posible coordinar acciones de conservación a nivel regional que permitan salvaguardar ambos elementos de manera simultánea; las áreas de demanda y oferta de SEH pueden ser potencialmente utilizadas para cubrir eficientemente con los objetivos de conservación de biodiversidad regionales. Sin embargo, la viabilidad de implementación de este modelo se ve limitada ante la compatibilidad de las acciones locales de conservación de SEH y biodiversidad. Si bien, una baja coincidencia entre sitios prioritarios de biodiversidad y SE implica un mayor conflicto en cuanto a la asignación recursos económicos y área requerida, en el caso contrario, también habría problemas en cuanto al uso de tierra si existe compatibilidad entre las acciones de conservación de ambos elementos. En el caso del modelo *ab*, dado que se incluyó una capa de amenazas, es posible que la capacidad de realizar acciones de conservación para biodiversidad solo se vea limitada en las áreas de demanda de SEH. Las áreas de demanda de SEH no se consideraron sitios prioritarios como tal, sin embargo, los modelos *b* y *ab* las consideran *a priori* para representar los objetivos de conservación y formar los sistemas de reservas. Estas áreas, aunque potencialmente puedan usarse para cumplir objetivos cuantitativos de conservación, puede que no necesariamente sean los más idóneos para conservar biodiversidad desde un punto de vista proactivo (Brooks, 2010), y la conservación de ciertos grupos biológicos en estos sitios, como depredadores tope o especies especialistas sea inviable (Magioli et al., 2019).

Encontrar soluciones a los problemas potenciales que pueden ocurrir en la planeación no es tarea simple. Este trabajo muestra la relevancia de modelar sitios prioritarios de SE y biodiversidad de forma conjunta y separada; el modelo de SEH no fue efectivo para representar los sitios prioritarios de biodiversidad y viceversa, sin embargo, los resultados muestran que es posible disminuir estos conflictos a través de la modelación conjunta de ambos componentes. Para mejorar la modelación de sitios prioritarios para la conservación de biodiversidad y SEH en general, y particular para la Riviera maya, se hacen las siguientes recomendaciones: 1) utilizar el modelo *ab* como base generar el sistema de reservas, pero considerar que es necesario evaluar la compatibilidad y la viabilidad de usar áreas de demanda para conservar biodiversidad; 2) evaluar la eficiencia de los modelos con respecto al azar para identificar, el grado de beneficio exacto en cuanto al cumplimiento de objetivos cuantitativos que se obtiene al preservar los sitios de extrema, alta y media importancia; 3) explorar más a fondo la coincidencia espacial del modelo *ab* con los modelos *a* y *b* considerando sitios de diferentes categorías de prioridad; y 4) Utilizar los valores de frecuencia de selección obtenidos por MARXAN durante la creación de los modelos *a* y *b* para ampliar el conjunto de posibilidades que pueden ser compatibles con el modelo *ab*.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Se otorgan especiales agradecimientos a la Dra. Melanie Kolb, la Dra. Patricia Koleff Osorio y al Dr. Fernando Álvarez Noguera, por sus valiosas aportaciones en todas las etapas de realización de este trabajo. También se agradece al posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme realizar los estudios de Maestría y al consejo nacional de ciencia y tecnología (CONACYT) por la beca otorgada. Sin los apoyos económicos otorgados por CONACYT la realización de este trabajo hubiera sido imposible.

## 6. LITERATURA CITADA

- Álvarez, F. y T. M. Iliffe. 2008. Capítulo 13. Fauna anquihalina de Yucatán. In *Crustáceos de México*, F. Álvarez y G. Rodríguez-Almaraz (eds.). Estado actual de su conocimiento. Universidad Autónoma de Nuevo León. p. 397–436.
- Ball, I. R. y Possingham, H. 2000. MARXAN. University of Queensland, Brisbane.
- Ball, I. R., Possingham, H. P., y Watts, M. 2009. Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritisation. *Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools*, 185-195.
- Balvanera Levy, P., Daily, G. C., Ehrlich, P. R., Ricketts, T. H., Bailey, S. A., Kark, S., Kremen, C., y Pereira, H. 2001. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science*, 291(5511).
- Bauer-Gottwein, P., Gondwe, B. R., Charvet, G., Marín, L. E., Rebolledo-Vieyra, M., y Merediz-Alonso, G. 2011. the Yucatán Peninsula karst aquifer, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 19(3), 507-524.



- Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K. E., y Mooney, H. A. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 32, 67-98.
- Brauman, K. A., Van Der Meulen, S., y Brils, J. 2014. Ecosystem services and river basin management. In *Risk-Informed Management of European River Basins* (pp. 265-294). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Brooks, T. 2010. Conservation planning and priorities. *Conservation Biology for All*. Oxford University Press, Oxford, 199-219.
- Centro Canadiense de Teledetección (CCT), Centro de Mapeo y Observación de la Tierra, Ministerio de Recursos Naturales, Servicio Geológico de Estados Unidos, CONABIO, Comisión Nacional Forestal, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017. 'Cobertura del suelo de México a 30 metros, 2010', escala: 1:1000000. edición: 1.0. Centro Canadiense de Teledetección. Ciudad de México, México.
- Chan, K. M., Shaw, M. R., Cameron, D. R., Underwood, E. C., y Daily, G. C. 2006. Conservation planning for ecosystem services. *PLoS biology*, 4(11), e379.
- Cimon-Morin, J., Darveau, M., y Poulin, M. 2013. Fostering synergies between ecosystem services and biodiversity in conservation planning: a review. *Biological Conservation*, 166, 144-154.
- Cimon-Morin, J., Darveau, M., y Poulin, M. 2014. Ecosystem services expand the biodiversity conservation toolbox—A response to Deliége and Neuteleers. *Biological Conservation*, (172), 219-220.
- Cimon-Morin, J., Darveau, M., y Poulin, M. 2016. Site complementarity between biodiversity and ecosystem services in conservation planning of sparsely-populated regions. *Environmental conservation*, 43(1), 56-68.
- (CITES) Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre. 2019. Disponible en: <https://trade.cites.org/>. (Consultado en Enero 2019)
- (CONABIO) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2007. "Cuerpos de agua de México. Con descripción y nombre." Modificado de Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática "Conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica (1:250 000)". Escala 1:250 000. México, D.F.
- (CONABIO) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, (CONABIO), 2016. 'Distribución de los manglares en México en 2015', escala: 1:50000. edición: 1. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM). Ciudad de México, México.
- (CONABIO-INEGI) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad- Instituto nacional de estadística, geografía e información. 2018. Cobertura del suelo de los Estados Unidos Mexicanos. 1:20000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- (CONABIO-SNIB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México (SNIB). Available from <[www.conabio.gob.mx/institucion/snib/doctos/acerca.html](http://www.conabio.gob.mx/institucion/snib/doctos/acerca.html)>
- (CONAGUA-REPDA) Registro Público de Derechos de Agua (Concesiones, asignaciones, permisos otorgados y registros de obras situadas en zonas de libre alumbramiento de CONAGUA) creado el: 17-10-19, disponible en <<https://datos.gob.mx/busca/dataset/concesiones-asignaciones-permisos-otorgados-y-registros-de-obras-situadas-en-zonas-de-libre-alu>> revisado: 24/02/2019
- (CONANP). Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2013. Propuesta de lista de especies prioritarias para la conservación en México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, SEMARNAT. Disponible en: [https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/pdf/EspeciesPrioritarias/PropuestaEspPrioritarias\\_ago2012\\_VerAct\\_Sept2013.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/pdf/EspeciesPrioritarias/PropuestaEspPrioritarias_ago2012_VerAct_Sept2013.pdf)
- Costanza, R. 2008. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. *Biol Conservat*, 141, 350-352.
- Daily, G. C. 1997. *Nature's services* (Vol. 19971). Island Press, Washington, DC.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., y Boumans, R. M. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.
- Doehring, D. O., y Butler, J. H. 1974. Hydrogeologic constraints on Yucatan's development. *Science*, 186(4164), 591-595.
- Egoh, B., Rouget, M., Reyers, B., Knight, A. T., Cowling, R. M., van Jaarsveld, A. S., y Welz, A. 2007. Integrating ecosystem services into conservation assessments: a review. *Ecological Economics*, 63(4), 714-721.
- Enciclovida. 2019 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: <http://www.enciclovida.mx/>. (Consultado en Enero de 2019).
- Equihua, J. A., M. Equihua, O. Pérez-Maqueo, M. Kolb, M. F. Schmidt, M. Munguía, P. Díaz, M. T. Ortiz, E. O. Miranda, E. Robredo, S. Martínez. 2014. Integridad Ecosistémica, 250m. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. México.
- Escolero, O. A., Marin, L. E., Steinich, B., y Pacheco, J. 2000. Delimitation of a hydrogeological reserve for a city within a karstic aquifer: the Merida, Yucatan example. *Landscape and Urban Planning*, 51(1), 53-62.
- Fick, S. E., y Hijmans, R. J. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302-4315
- Fisher, B., Turner, R. K., y Morling, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological economics*, 68(3), 643-653.



- Fragoso-Servón, P., Bautista, F., Frausto, O., y Pereira, A. 2014. Caracterización de las depresiones kársticas (forma, tamaño y densidad) a escala 1: 50,000 y sus tipos de inundación en el Estado de Quintana Roo, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 31(1), 127-137.
- (GBIF) Global Biodiversity Information Facility. GBIF.org (19 September 2019) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.qenied>
- Girardello, M., Santangeli, A., Mori, E., Chapman, A., Fattorini, S., Naidoo, R., Bertolino, S. y Svenning, J.C. 2019. Global synergies and trade-offs between multiple dimensions of biodiversity and ecosystem services. *Scientific reports*, 9(1), 5636.
- Goldman, R. L., y Tallis, H. 2009. A critical analysis of ecosystem services as a tool in conservation projects. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162(1), 63-78.
- Goldman, R. L., Tallis, H., Kareiva, P., y Daily, G. C. 2008. Field evidence that ecosystem service projects support biodiversity and diversify options. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(27), 9445-9448.
- Griebler, C., y Avramov, M. 2014. Groundwater ecosystem services: a review. *Freshwater Science*, 34(1), 355-367.
- Hernández-Arana, H. A., Vega-Zepeda, A., Ruiz-Zárate, M. A., Falcón-Alvarez, L. I., López-Adame, H., Herrera-Silveira, J., y Kaster, J. 2015. Transverse coastal corridor: from freshwater lakes to coral reefs ecosystems. In *Biodiversity and conservation of the Yucatán Peninsula* (pp. 355-376). Springer, Cham.
- Groves, C. R., Jensen, D. B., Valutis, L. L., Redford, K. H., Shaffer, M. L., Scott, J. M., Baumgartner, J.V., Higgins, J.V., Beck, M.W., y Anderson, M. G. 2002. Planning for biodiversity conservation: putting conservation science into practice: a seven-step framework for developing regional plans to conserve biological diversity, based upon principles of conservation biology and ecology, is being used extensively by the nature conservancy to identify priority areas for conservation. *BioScience*, 52(6), 499-512.
- Hernández-Terrones, L., Rebolledo-Vieyra, M., Merino-Ibarra, M., Soto, M., Le-Cossec, A., y Monroy-Ríos, E. 2011. Groundwater pollution in a karstic region (NE Yucatan): baseline nutrient content and flux to coastal ecosystems. *Water, Air, y Soil Pollution*, 218(1-4), 517-528.
- (IMT). 2010. Red de carreteras. Escala 1:1. Instituto Mexicano del Transporte, México.
- (INEGI) Instituto nacional de estadística, geografía e información. 2002. Conjunto de datos vectoriales Geológicos. Continuo Nacional. Fallas fracturas, escala 1:1 000 000. Instituto Nacional de Geografía y Estadística, Dirección General de Geografía, Aguascalientes, México.
- (INEGI) Instituto nacional de estadística, geografía e información. 2010. Localidades de la República Mexicana, 2010a. Obtenido de principales resultados por localidad. Censo de Población y Vivienda 2010. Editado por Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.
- (INEGI) Instituto nacional de estadística, geografía e información. 2010b. Sistema para la Consulta de Información Censal.
- Kullberg, P., y Moilanen, A. 2014. How do recent spatial biodiversity analyses support the convention on biological diversity in the expansion of the global conservation area network?. *Natureza y Conservacao*, 12(1), 3-10.
- Lamarche, C., Santoro, M., Bontemps, S., d'Andrimont, R., Radoux, J., Giustarini, L., ... y Arino, O. 2017. Compilation and validation of SAR and optical data products for a complete and global map of inland/ocean water tailored to the climate modeling community. *Remote Sensing*, 9(1), 36.
- Larsen, F. W., Londoño-Murcia, M. C., y Turner, W. R. 2011. Global priorities for conservation of threatened species, carbon storage, and freshwater services: scope for synergy?. *Conservation Letters*, 4(5), 355-363.
- Lira-Noriega, A., Aguilar, V., Alarcón, J., Kolb, M., Urquiza-Haas, T., González-Ramírez, L., ... y Koleff, P. 2015. Conservation planning for freshwater ecosystems in Mexico. *Biological Conservation*, 191, 357-366.
- Luck GW, Chan KM, Klien CJ. 2012. Identifying spatial priorities for protecting ecosystem services. F1000 Research DOI: 10.12688/f1000research.1-17.v1
- Lutz, W., Prieto, L., y Sanderson, W. C. 2000. Population, development, and environment on the Yucatan peninsula: From ancient Maya to 2030.
- Magioli, M., Moreira, M. Z., Fonseca, R. C. B., Ribeiro, M. C., Rodrigues, M. G., y de Barros, K. M. P. M. 2019. Human-modified landscapes alter mammal resource and habitat use and trophic structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(37), 18466-18472.
- Margules, C. R., y Pressey, R. L. 2000. Systematic conservation planning. *Nature*, 405(6783), 243-253.
- Margules, C. y Sarkar, S. 2007. Systematic conservation planning. Cambridge University Press, Cambridge.
- Margules, C. R., Pressey, R. L., y Williams, P. H. 2002. Representing biodiversity: data and procedures for identifying priority areas for conservation. *Journal of biosciences*, 27(4), 309-326.
- Marín, L. 2008. Hidrogeología de la península de Yucatán. *Península de Yucatán*. 159- 176.
- Marsily, G. 1992. Creation of "Hydrogeological Nature Reserves": a plea for the defense of ground water. *Groundwater*, 30(5), 658-659.
- McCauley, D. J. 2006. Selling out on nature. *Nature*, 443(7107), 27.
- McIntosh, E. J., Pressey, R. L., Lloyd, S., Smith, R. J., y Grenyer, R. 2017. The impact of systematic conservation planning. *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 677-697.



- (MEA) Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Morales-Lopez, J. A. 2007. Estrategia de manejo y conservación de recursos hídricos para la zona de influencia norte de Sian Ka'an [Management and conservation strategy for the hydrological resources in the northern zone of Sian Ka'an] (Doctoral dissertation, MSc Thesis, Universidad Autónoma de Querétaro, Mexico).
- Naidoo, R., Balmford, A., Costanza, R., Fisher, B., Green, R. E., Lehner, B., ... y Ricketts, T. H. 2008. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9495-9500.
- Reyers, B., Polasky, S., Tallis, H., Mooney, H. A., y Larigauderie, A. 2012. Finding common ground for biodiversity and ecosystem services. *Bioscience*, 62(5), 503-507.
- Rosenzweig, M. L., y Michael, L. 2003. *Win-win ecology: how the earth's species can survive in the midst of human enterprise*. Oxford University Press on Demand.
- Rubio Maldonado, E., Murad Robles, M., Sanroque, R., y Vicente, J. 2010. Crisis ambiental en la costa de Quintana Roo como consecuencia de una visión limitada de lo que representa el desarrollo sustentable. *Argumentos* (México, DF), 23(63), 161-185.
- Schmitter-Soto, J.J., E. Escobar-Briones, J. Alcocer, E. Suárez-Morales, M. Elías-Gutiérrez y L. E. Marín. 2002. Los cenotes de la península de Yucatán, En: G. De la Lanza y J.L. García- Calderón, eds. *Lagos y presas de México*.
- Schwartz, M. W., Brigham, C. A., Hoeksema, J. D., Lyons, K. G., Mills, M. H., y Van Mantgem, P. J. 2000. Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation ecology. *Oecologia*, 122(3), 297-305.
- SEMARNAT, 2010. Norma Oficial Mexicana. NOM- 059-SEMARNAT.2010. Diario Oficial
- Soulé, M. E., y Sanjayan, M. A. 1998. Ecology: conservation targets: do they help?.
- Thomas, C. D., Anderson, B. J., Moilanen, A., Eigenbrod, F., Heinemeyer, A., Quaipe, T., ... y Gaston, K. J. 2013. Reconciling biodiversity and carbon conservation. *Ecology Letters*, 16, 39-47.
- Trabucco, A., y Zomer, R. J. 2010. High-Resolution Global Soil-Water Balance explicit for Climate–Standard Vegetation and Soil Conditions. CGIAR Consortium for Spatial Information.
- Verhagen, W., Kukkala, A. S., Moilanen, A., van Teeffelen, A. J., y Verburg, P. H. 2017. Use of demand for and spatial flow of ecosystem services to identify priority areas. *Conservation biology*, 31(4), 860-871.

# **ID-290: COMPENSACIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS; MÁS ALLÁ DE LA CONSERVACIÓN DE BOSQUES, EL CASO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC**

Tajín FUENTES PANGTAY <sup>a</sup> Georgina VIDRIALES CHAN <sup>b</sup>;

<sup>a</sup> SENDAS AC, murcilag@prodigy.net.mx

<sup>b</sup> SENDAS AC, mix\_maak@yahoo.com.mx

## **RESUMEN**

Se presenta un análisis de las vinculaciones entre los modelos conceptuales sobre gestión de agua/ cuencas; las iniciativas de gestión de territorio o paisajes y los instrumentos de financiamiento para operativizar dichas iniciativas. Se describen los planteamientos sobre participación, gobernanza ambiental y cogestión de cuenca de la experiencia de Co gestión de la subcuenca del río Pixquiac, que abastece a la zona conurbada de la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. Se contextualizan los temas abordados en la coyuntura política y social de México, en la que están en debate distintos proyectos para la nueva Ley general de aguas, enfatizando que lejos de ser una discusión meramente teórico-académica, lo que está en juego es la definición del tipo de gestión territorial en las cuencas y el del buen gobierno del agua.

**Palabras clave:** Servicios ambientales, instrumentos de financiamiento para la gestión integral de territorio, cuenca social, gobernanza ambiental, Ley general de aguas.

## **INTRODUCCIÓN**

México atraviesa un momento crítico en el que se definirá para la próxima etapa de nuestra historia la manera en que el agua y los territorios asociados a ella serán apropiados o distribuidos, cuidados o sobre explotados. Pronto habrá de definirse una nueva Ley general de aguas, tarea pospuesta por el estado nacional desde el 2012, cuando se vió atrapado entre visiones y proyectos contrastantes sobre cómo interpretar y hacer efectivo el derecho humano al agua, reconocido a raíz de la reforma al artículo 4º constitucional. Un año era el plazo para que se promulgará la nueva Ley que debe reestructurar la gestión del agua teniendo en el centro el derecho humano al agua. Sin embargo han pasado siete años... y ahora el gobierno de la 4T, no podrá dejar el tema sin resolver.

En medio de todo esto también se están redefiniendo los instrumentos económicos que la sociedad y el gobierno han venido construyendo para proteger a los servicios ecosistémicos en las cuencas. Es el caso de los esquemas de pago por servicios ambientales que se han venido practicando en nuestro país en las últimas décadas. En este contexto es normal preguntarse qué será de estas iniciativas; ¿Serán abandonadas como una reliquia del neoliberalismo y su manía por mercantilizar todo, incluyendo a la naturaleza y sus servicios ecosistémicos, serán relanzados de la mano de nuevos mercados como el de la captura de carbón, o podrán ser incorporados pragmáticamente para nutrir esquemas planteados desde otras lógicas, como es la gestión integral y local de los territorios, como de hecho ya sucede en algunas experiencias en México?

## **LOS PAGOS POR SERVICIOS AMBIENTALES: INSTRUMENTOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE PAISAJES Y TERRITORIOS**

La conservación de bosques suele ser lo primero que viene a la mente cuando se habla de pago por servicios ambientales. Probablemente esta asociación se debe en México al programa nacional pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH) operado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) desde los primeros años de este siglo. Esta institución está limitada al ámbito forestal por sus atribuciones dentro de la administración pública y ha sido inamovible al orientar su programa nacional de PSAH hacia la conservación de bosques maduros, como medio para reducir la deforestación. Sin embargo, en su programa de mecanismos locales de pago por



servicios ambientales a través de fondos concurrentes, la CONAFOR ha tratado de flexibilizar sus lineamientos para establecer sinergias con iniciativas regionales o locales que puedan aportar inversiones complementarias, aunque no sea en conservación de bosques maduros.

Paralelamente o antes del PSAH de CONAFOR se han desarrollado en varios puntos del país experiencias regionales que abordan el tema de los servicios ambientales desde otras perspectivas. Algunos ejemplos son el Sistema comunitario para biodiversidad (SICOBÍ) promovido por GAIA A.C. en Oaxaca, el Pago por servicios ambientales para el manejo integral del territorio (PASMIT), generado en el estado de México por el CCMSS y el programa Acuerdos por Nuestra Agua (ANA) desarrollado por SENDAS A.C. en Veracruz. Aunque diferentes en muchos aspectos las tres experiencias coinciden en al menos tres premisas:

- Se orientan hacia la gestión de territorios, como unidades integradas de sus componentes ecosistémicos y sus relaciones con las personas que las que interactúan.
- Parten de la gobernanza como el eje y base de la gestión: buscan generar o fortalecer procesos participativos para construir los acuerdos de gestión territorial de abajo hacia arriba.
- Las comunidades rurales son el centro para la gestión sustentable de los ecosistemas, considerando que ésta solo posible si está ligada a estrategias de vida y economías locales.

Otro aspecto compartido es que las tres experiencias han tenido que desarrollar instrumentos de financiamiento para apoyar económicamente la gestión integral de los territorios donde trabajan. En este proceso han sumado las aportaciones de PSA de instancias federales, estatales y regionales, conjugándolas con recursos locales. Los actores sociales e institucionales han colaborado poder construir los esquemas de financiamiento locales, un diálogo no exento de dificultades para lograr acercar sus esquemas de trabajo y enfoques.

## **PROGRAMA ACUERDOS POR NUESTRA AGUA (ANA)**

El ANA fue objeto de una ponencia en el IV Congreso nacional de cuencas<sup>29</sup>, por lo que remitimos a ese documento y en adelante solo se presenta una descripción muy sintética de esta iniciativa. La intención es abordar con más profundidad los aspectos del ANA relacionados con la participación local y gobernanza, lema del presente Congreso.

El ANA es un instrumento local de compensación por servicios ambientales (SA) creado en el 2006 como parte de la iniciativa de Gestión compartida (co-gestión) de subcuenca del río Pixquiac. Esta iniciativa nació en el 2005, como una propuesta de la sociedad civil organizada y sectores académicos para promover la gestión integral del territorio en la subcuenca del río Pixquiac, el cual abastece el 38% del agua en la zona conurbada de la ciudad de Xalapa, Ver. La función del ANA es ser el instrumento para financiar las acciones de un plan de manejo integral del territorio con enfoque de cuenca. Este de plan de manejo es resultado de un proceso participativo en el que se ponen en diálogo la información proveniente de investigaciones técnico-científicas (estudios de vegetación, suelos, balance hídrico, caracterización demográfica y socioeconómica, etc.), con los saberes y perspectivas locales de los actores sociales que habitan y son propietarios de los territorios dentro de la subcuenca.

El ANA se estructura en torno a tres principios i) el programa apoya la conservación de los servicios ambientales en conjunto (biodiversidad, servicios hidrológicos), ii) la conservación no es entendida como “no tocar”, sino que implica una apropiación del territorio a partir de actividades productivas y de aprovechamiento sustentables, y iii) los acuerdos para el uso sustentable del territorio son construidos en procesos de diálogo y negociación propiciados por el Comité de cuenca del río Pixquiac (COCUPIX). El ANA atiende la problemática

---

<sup>29</sup> Ponencia “Acuerdos por Nuestra Agua. De iniciativa ciudadana a política pública con enfoque de cuenca”, presentada el 16 de octubre del 2016 en Xalapa, Ver.



ambiental y social de la subcuenca a través de tres líneas de acción, en las que se invierten los recursos que gestiona el COCUIPX y su asesor técnico, SENDAS A.C:

- *Reorientación productiva*; se apoya en especie y con acompañamiento técnico constante a grupos de campesinos y campesinas que desarrollan proyectos de reconversión productiva hacia esquemas sustentables. También se apoya la comercialización de los productos y servicios resultantes de los proyectos a través del esquema “Pixcando”, el cual promueve la organización y la vinculación con redes y espacios regionales de consumo local bajo principios de comercio justo de productos libres de agrotóxicos.
- *Reforestación*; con especies nativas del bosque mesófilo de montaña, con planta producida en viveros ejidales construidos y operados por campesinos. Esta línea prácticamente se dejó de lado en 2014, ya que más del 60% de la subcuenca esta forestada, sobre todo con bosques jóvenes, que no son elegibles para los programas de PSAH de la CONAFOR.
- *Conservación de bosques*; sobre todo en áreas de uso común de ejidos, quienes los han declarado como áreas en conservación por acuerdos internos de sus núcleos agrarios.

Para financiar el ANA el COCUIPX y SENDAS gestionan recursos de diversas fuentes, principalmente de la comisión municipal de agua y saneamiento de Xalapa, el Gobierno Federal, a través de la CONAFOR, y el Gobierno de Veracruz que aporta recursos por medio del Fondo Ambiental Veracruzano (FAV). Se han firmado convenios de fondos concurrentes con aportaciones de los tres niveles de gobierno desde el 2010, y a la fecha está vigente uno para el periodo 2016-2020.

### **Compensación o pago: adicionalidad financiera para sostener economías locales y servicios ecosistémicos**

El ANA plantea una compensación y no un pago por servicios ambientales, con esto no busca poner un precio a pagar por conservar las capacidades de los ecosistemas para brindar servicios ambientales y no asume que el pago monetario sea la forma central o única de apoyar a los dueños de las tierras. La noción de compensación por SA es más amplia que la de pago monetario, lo que ayuda a establecer marcos de negociación y acuerdos que acentúan la corresponsabilidad entre los actores involucrados. La compensación abre la posibilidad de que el intercambio entre usuarios de SA -agua, por ejemplo, en una ciudad como Xalapa- y la población que vive cuenca arriba, abarque otras modalidades, no solo el pago en dinero; tal vez a través de asesoría técnica para producir sin dañar la salud de las personas o la naturaleza (muchas veces igual o más importante que el financiamiento), o acuerdos para abrir espacios para venta de los productos del campo en la ciudad.

El ANA se concibe como un instrumento para allegar recursos necesarios para la gestión de cuenca y parte de una concepción de los ecosistemas que brindan servicios ambientales en esos territorios como unidades integradas. Desde esta perspectiva es incoherente que los actuales instrumentos de pago o compensación por servicios ambientales fragmenten esa integralidad al asignar recursos por separado para cada servicio ambiental, tendiendo además a asignar excluyentemente estos recursos en cada predio. Esto es, si un terreno está inscrito en un programa de servicios ambientales hidrológicos, no será elegible para recibir recursos por otros servicios ambientales que los mismos ecosistemas del mismo predio también brindan, por ejemplo, captura de Co2, o biodiversidad.

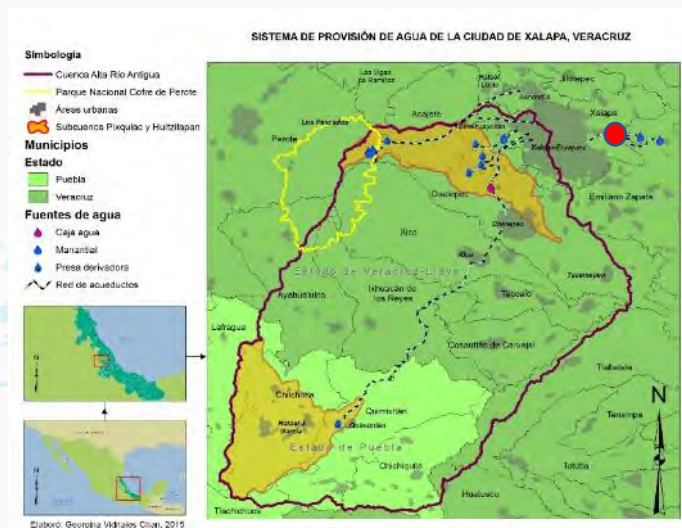
Desde punto de vista práctico se argumenta que esta estrategia es preferible para alcanzar mayor superficie apoyada por una de estas iniciativas o programas. Esto puede ser lógico desde punto de vista de quien “paga” o si se tiene la prioridad de lograr mayores metas como programa público. Sin embargo para los dueños de los territorios es absolutamente incoherente e injusto, ya que no solamente niega la integralidad de los servicios ecosistémicos, sino que limita los recursos que pueden allegarse para apoyar las iniciativas locales para proteger los ecosistemas.

La realidad es que en las condiciones actuales de México y en el mundo, hay muchos subsidios que promueven prácticas destructivas o adversas a la conservación y gestión sustentable de los ecosistemas. En ese



contexto los pocos instrumentos públicos o de mercado que existen para apoyar a quienes apuestan por un uso sustentable de sus territorios pagan cantidades increíblemente bajas, por ejemplo, menos de mil pesos por hectárea al año por la conservación de bosque mesófilo de montaña, el tipo de bosque con pago más alto en el PSAH de la CONAFOR. En este ejemplo, ¿por qué no pagar también un monto por la altísima biodiversidad contenida en un mismo predio que aporta servicios hidrológicos, y porqué no adicionarle un valor a la captura de carbono?

**Figura1.** Ubicación de la subcuenca del río Pixquiac y sistema de abasto de agua para Xalapa



**Fuente:** Vidriales 2015

Desde nuestra perspectiva más allá de la discusión ética o política aparejada al hecho de pagar o asignar un precio a los servicios ambientales, las decisiones deben considerar el punto de vista locales, de los dueños de los territorios que generan los servicios ecosistémicos y sus necesidades. La clave debe estar en el mantenimiento del control del territorio por parte de los dueños y si eso se garantiza, pragmáticamente usar de manera los recursos por pagos o compensaciones por servicios ambientales para impulsar procesos económicos y estrategias de vida vinculados a la gobernanza local.

## MARCO CONCEPTUAL

El ANA no es un fin sí mismo, sino la expresión operativa de un modelo conceptual sobre las cuencas entendidas como unidades socio-ambientales. El ANA corresponde también a una postura política sobre cómo gestionar esos territorios: a partir de procesos que apuestan por la participación ciudadana por encima de gobernabilidad vertical.

El andamiaje conceptual del ANA parte de una crítica a la perspectiva común en la política pública de México, en la que la cuenca se ha visto como un sistema hidráulico, donde cada parte del sistema natural y social de la cuenca (hidrológico, forestal, biótico, económico, cultural, político) es administrado como si fueran componentes aislados. En la práctica las distintas instituciones actúa sobre un segmento del sistema, de manera que la coordinación es muy débil, inexistente e inadecuada para abordar las problemáticas complejas que presentan las cuencas (Paré, et. al 2012). Frente a este panorama una concepción más integral es la de cuenca social elaborada por Mendoza (2019), quien la define como:

*...como un espacio geográfico donde los límites naturales son demarcados por los escurrimientos de agua, pero que también se percata que éste alberga “territorios vividos” suscitados de la apropiación que el ser humano, a*



*través del tiempo, ha venido realizando sobre sus recursos naturales; acción que dibuja horizontes culturales diferentes a los establecidos por las dinámicas biofísicas.*

Este concepto incorpora al análisis los procesos de apropiación humana de los recursos naturales de la cuenca, sin los cuales no es posible entender cabalmente el sistema ni plantear vías para gestionarlo de forma integral. Para ello es preciso entender a la cuenca como un territorio configurado por los procesos de uso de los recursos naturales, la historia y las instituciones establecidas y/o emergentes (ibid.). Siendo estos procesos de apropiación, historia e identidad que dan lugar a instituciones que determinan la manera en que los humanos nos apropiamos de la cuenca. Es sobre estas instituciones y procesos sobre los podemos tratar de incidir para construir acuerdos sociales y técnicas sustentables.

En este marco, siguiendo a Leff, (2010) se entiende a la sustentabilidad como un proceso que va más allá de ecologizar y reorientar los potenciales tecnológicos y ambientales, ya que además, busca dar paso a que los diferentes actores sociales que habitan los territorios sean capaces de tomar decisiones democráticas y económicamente justas sobre el uso de sus recursos naturales. En ese sentido la co -gestión de la cuenca es un proceso de gobernanza ambiental en el que se dirimen los conflictos motivados por el acceso y distribución a los recursos naturales, pues las transformaciones o cambios que se pretenden erigir serán el resultado de los acuerdos logrados mediante una política ambiental de conciliación; misma que ha de surgir desde las y los que inciden en determinado contexto geoespacial (Mendoza, Ibid).

## **EL COCUPIX**

La iniciativa de Co gestión integral de la subcuenca del Pixquiac procura generar espacios para que los actores involucrados hagan explícitos sus conflictos y negocien sus intereses, como parte del proceso de construcción de acuerdos sobre el uso del territorio. Este espacio para la mediación del conflicto es el COCUPIX, en él se procura una cogestión del territorio que dé paso a una gobernanza ambiental del mismo (ibidem).

Este planteamiento es la respuesta a las prácticas de clientelismo, paternalismo y corrupción que representan el principal obstáculo para el desarrollo de cualquier iniciativa de gobernanza ambiental. Inercias tan profundamente arraigadas que permean las relaciones sociales e institucionales, al grado de inmovilizar los procesos de gobernanza o incluso de gobernabilidad necesarios para atender los más apremiantes problemas que se están presentando, sean sociales, económicos o ambientales.

En este contexto a mediados del 2006 se conformó el COCUPIX, integrado por representantes de ejidos y propietarios particulares en la cuenca, profesionistas y académicos. Inicialmente se contó con la participación de la Conagua, Sagarpa, Semarnat, Conanp, CMAS Xalapa y Gobierno de Veracruz. Una de las primeras tareas abordadas por el Comité fue hacer un diagnóstico participativo de la problemática de la cuenca, mismo que tuvo como resultado el bosquejo de un plan de manejo de cuenca, mismo que posteriormente fue complementado con información generada en varios estudios técnicos. Sobre esta base se ha orientado hasta la fecha las decisiones que el COCUPIX toma, sobre todo en lo tocante a las áreas y tipo de acciones que se financian con los recursos que el propio Comité gestiona para el ANA. El COCUPIX es presidido por una directiva campesina compuesta por los representantes de los ejidos y grupos de campesinos. Las decisiones sobre las acciones e inversiones concernientes al ANA se toman en el seno del COCUPIX.

Una de las estrategias que está mostrando buenos resultados para propiciar relaciones distintas al clientelismo político ha sido la decisión de que los recursos que se gestionan para proyectos de reorientación productiva no sean a fondo perdido. Los recursos que reciben los participantes en los proyectos apoyados por el ANA, llegan a ellos en especie y nunca en efectivo, con ello se reduce notablemente la tendencia a la simulación acostumbrada cuando se trata de programas públicos. La regla del Comité de que al menos una parte del apoyo debe reintegrarse al mismo COCUPIX propicia que los financiamientos sean percibidos como inversiones y no como subsidios. Otro procedimiento del Comité que se encamina en el mismo sentido es la asignación de recursos por convocatoria abierta, cuyas reglas y criterios de selección son elaborados de manera colectiva por la directiva y representantes institucionales que participan en el Comité.

El carácter autónomo del COCUPIX le resta capacidad de convocatoria hacia las instituciones gubernamentales y gobiernos municipales, aun cuando se articuló como organismo auxiliar del Fideicomiso ABC (antecesor del



FAV) y es reconocido como órgano auxiliar del Consejo de Cuenca de los ríos Tuxpan al Jamapa, de la CONAGUA. Incluso siendo parte de las estructuras de gobierno supuestamente dedicadas a facilitar la participación social en la gestión del agua y las cuencas, no se está en condiciones de asegurar la continuidad del ANA o lograr que se asignen suficientes recursos para garantizar la provisión de los servicios ambientales hidrológicos y con ello propiciar que se reviertan las causas del deterioro sociambiental de la subcuenca, logrando con ello un beneficio mutuo y, ante los ojos de muchos, necesario para sostener la calidad de vida de la región.

## **INSTANCIAS PARA LA PARTICIPACIÓN PREVISTAS EN LA INICIATIVA CIUDADANA DE LEY GENERAL DE AGUAS**

A partir de la reforma al artículo 4 Constitucional en 2012 reconociendo el derecho humano al agua se inició un proceso ciudadano que logró a fines de ese mismo año un primer borrador de Ley en el que se confiere un lugar central a la participación ciudadana junto -con la de los tres niveles de gobierno- para lograr el acceso equitativo y sustentable al agua. De entonces a la fecha la Iniciativa Ciudadana de Ley General de Aguas (ICLGA) ha ido fortaleciendo su propuesta, la cual ha servido para bloquear la aprobación de iniciativas que buscaban utilizar el derecho humano al agua como pretexto para su privatización.

En cumplimiento con las reformas constitucionales, la iniciativa ciudadana propone instancias, criterios e instrumentos para poder corregir la sobreexplotación, el acceso inequitativo, la discriminación y la falta de reconocimiento de los derechos de los pueblos, resultado del actual sistema de concesiones de la Ley de Aguas Nacionales (LAN). La gestión territorial con enfoque de cuenca es un componente básico de la iniciativa ciudadana, la cual propone crear Consejos Regionales de Aguas y Cuencas que reemplazarían los actuales Organismos de Cuenca.

Los Consejos regionales de aguas y cuencas son instancias colegiadas para la gestión planificada de cuencas, que tienen entre sus principales responsabilidades y atribuciones la elaboración de planes rectores de cuenca y la autoridad para reconocer derechos, y ajustar asignaciones o concesiones del agua. Otra atribución relevante es la creación de mecanismos y procedimientos para reconocer los derechos de los pueblos indígenas a las aguas en sus territorios, y reconocer los derechos de los núcleos agrarios y de los pequeños productores para la soberanía alimentaria, sin necesidad de concesión.

La ICLGA parte de un marco de gestión verdaderamente integral de recursos hídricos radicalmente distinta a la actual LAN y a los distintos proyectos de ley que están en juego, orientados hacia la privatización y administración a partir del sistema de concesiones. Una diferencia crucial está dada en torno al papel de la participación social y la gobernanza, donde la iniciativa ciudadana apuesta por crear la institucionalidad e instancias que fortalezcan la gobernanza a todo lo largo del ciclo del uso del agua, empezando desde las cuencas. Los principios y planteamientos de la ICLGA convergen con experiencias como de gestión compartida de la subcuenca del río Pixquiac y otras, que a lo largo y ancho del territorio nacional han establecido experiencias locales y regionales que muestran la viabilidad y bondades del este tipo de enfoques llevados a la práctica.

Muy pronto tendremos una nueva Ley general de aguas y en ella se definirá si la participación y la gobernanza ocupan un lugar central, periférico o irrelevante para la gestión del agua, o si ésta es concebida como una mercancía o un patrimonio, o si será gestionada como un elemento aislado o integrado a las cuencas y sus territorios. Todo esto dependerá de la posición política y teórica que finalmente logre plasmarse en la nueva Ley. Por eso, la participación y la gobernanza son hoy por hoy un asunto crucial en la construcción de los acuerdos sociales, económicos y políticos, no solo para el manejo de cuencas, sino también para el tema fundamental al que está indisolublemente ligado: el buen gobierno del agua.

## FUENTES CONSULTADAS

<http://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2016/03/mecanismo-local-de-PSA-en-Amanalco.pdf>  
<http://www.coplade.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2011/11/3-el-sistema-comunitario-para-la-biodiversidad-sicobi.pdf>

Leff, E. 2010. “Imaginarlos Sociales y Sustentabilidad”. En *Cultura y representaciones sociales*. México, UNAM, No. 9, año V, septiembre

Mendoza, J. 2019. Indicadores de eficacia para la metavaloración del enfoque de cuenca social como modelo de gestión del territorio, Unidad de análisis: La Coalición de Organizaciones de la Bio-región Jamapa-Antigua (COBIJA). Trabajo recepcional en la Maestría de gestión ambiental para la sustentabilidad, Universidad Veracruzana. Inédito.

Paré, L. et al. 2012. *Al filo del Agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz*. (pp. 25-50). México: Juan Pablo Editores. UNAM, SENDAS, A.C., Universidad Veracruzana, SEMARNAT, INE, U. Iberoamericana-Puebla.



# ID-351: MAPEO DE LA PROVISIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO EN LA SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Carolina USCANGA TEJEDA<sup>a\*</sup>, Ileana ESPEJEL<sup>a</sup>, María Concepción ARREDONDO GARCÍA<sup>a</sup> & María Cristina GARZA LAGLER<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana #3917 Fracc. Playitas, Ensenada, Baja California, email\*: [uscanga@uabc.edu.mx](mailto:uscanga@uabc.edu.mx), [ileana.espejel@uabc.edu.mx](mailto:ileana.espejel@uabc.edu.mx), [conchita@uabc.edu.mx](mailto:conchita@uabc.edu.mx), [cgarza@uabc.edu.mx](mailto:cgarza@uabc.edu.mx)

## RESUMEN

Por carecer de agua visible, el imaginario colectivo de quien no vive en las zonas áridas es de improductividad. Sin embargo, las zonas más fértiles del planeta se han construido en estos ecosistemas, donde los acuíferos son la principal fuente de abastecimiento de agua y, por tanto, es un fundamental el manejo hídrico integrado que comprenda aspectos biofísicos, sociales y económicos. La subcuenca Guadalupe, en Baja California, ofrece el escenario ideal para valorarlo como un sistema hídrico semiárido. En ella se desarrollan actividades agrícolas, aprovechamiento de especies maderables y actividades ecoturísticas. A pesar de que la zona se encuentra bajo las directrices de programas de ordenamiento ecológico y ordenamiento urbano, estos instrumentos no atienden las implicaciones socio ecológicas y socioeconómicas de la cuenca como unidad funcional del ecosistema. Esta investigación propone un mapeo del servicio ecosistémico de provisión de agua subterránea en la subcuenca desde una perspectiva de sistema socio-ecológico. Para ello se describió el ciclo hidrológico utilizando dinámica de sistemas, encontrado las etapas de oferta, demanda y flujo del servicio ecosistémico. Con información cartográfica proveniente INEGI y CONAGUA y utilizando álgebra de mapas, se delimitaron unidades de respuesta hidrológica con las cuales se indicaron los sitios potenciales de infiltración, provisión de agua y extracción mediante pozo concesionado. De esta forma se encontró que las zonas de mayor potencial de infiltración se encuentran la parte alta del sistema, mientras que las zonas de provisión y extracción se concentran en la parte media de la subcuenca.

**Palabras clave:** cuenca de zona árida, flujo de servicios ecosistémicos, sistema socio-ecológico

## 1 INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos (SE) -también llamados servicios ambientales- son entendidos como los beneficios que los humanos obtienen del ecosistema y los cuales tienen importancia por el uso que le imprime la sociedad (MEA, 2005; Laterra et al., 2005).

En el 2005 la Organización de las Naciones Unidas publicó la *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*, documento elaborado por 1,300 científicos con el fin de que los SE fueran integrados en las agendas de política pública. Entre 2007 y 2010, el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas promovió la iniciativa llamada *Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad* alcanzando promoción de los SE en el sector privado con el Consejo Empresarial para el Desarrollo. Por otro lado, Jacobs y colaboradores (2015) indican que desde finales de la década de los años 90, las organizaciones no gubernamentales, las empresas, los planificadores del paisaje y los responsables de la toma de decisiones han adoptado el concepto de SE generando la creación de redes a nivel nacional e internacional.

Más recientemente, Turpie y colaboradores (2018) mencionan que la valoración y el mapeo de los SE pueden servir de base para las políticas al explicar el papel del capital natural en la contribución a los objetivos de desarrollo y crecimiento. Señalan que aunque la mayoría de los estudios se centran en servicios individuales a escala local, éstos pueden utilizarse -junto con los datos espaciales- para elaborar estimaciones regionales, nacionales e incluso mundiales. Sobre el mapeo de SE, Ma y colaboradores (2019) indican que uno de los enfoques más prometedores es la evaluación de los ecosistemas basada en las distribuciones, cambios de la cobertura vegetal y el uso de suelo. Otros autores (Burkhard et al., 2014; Jacobs et al., 2015; Rova et al., 2018; O'Higgins et al., 2019) han ido un paso más lejos al describir y analizar sitios de provisión, demanda y áreas de flujo, así como asignar características económicas a los SE, asemejándolos a bienes públicos y privados.



Como ejemplo de iniciativas de escala mundial, el *Proyecto de Contabilidad de Capital Natural y Valoración de los Servicios Ecosistémicos*, se encuentra en marcha de pruebas piloto en el marco del *Sistema de las Naciones Unidas de Cuentas Económicas del Medio Ambiente y Contabilidad Experimental de los Ecosistemas* en países donde está en juego la diversidad biológica (México, Brasil, China, India y Sudáfrica). La intención de estos es mejorar la medición de los ecosistemas y sus servicios (tanto en términos físicos como monetarios), incorporar la biodiversidad y los ecosistemas en la planificación y aplicación de políticas, así como el contribuir al desarrollo de una metodología acordada internacionalmente (SEEA, 2018).

Asimismo, la Organización de las Naciones Unidas (2012) dentro del marco estadístico *Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica para el agua* propone como unidad para la integración de datos el *distrito de cuenca fluvial*. El uso de los límites de las cuencas permite el entendimiento espacial de los impactos acumulados de las actividades humanas a lo largo del sistema de corrientes que afectan la cantidad y calidad del agua, la capacidad de adaptación del ecosistema y la calidad de vida de sus habitantes (SEMARNAT, 2013).

Se considera que las cuencas de regiones áridas tienen una mayor demanda de servicios ecosistémicos comprándolos con los sistemas en zonas húmedas, ya que proporcionan servicios ecosistémicos muy singulares como regulación hídrica y conservación de microclimas, además de que deberían estudiarse para inspirar tecnologías eficientes en el manejo del agua (Khosravi et al., 2019).

Por esta razón, la generación de datos espaciales y económicos a diferentes escalas permite la comprensión y el análisis de los elementos naturales del entorno de manera integrada.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La subcuenca Guadalupe es un sistema hídrico semiárido que pertenece a la Región Hidrológica 01 Tijuana-Maneadero y se ubica en el estado de Baja California, México. Posee una extensión aproximada de 2,400 km<sup>2</sup> y un perímetro de 360 km, siendo su cauce principal un arroyo con longitud aproximada de 172 km y que nace en la Sierra Juárez.

### Identificación del servicio ecosistémico

Ya que el proceso ecosistémico de provisión de agua subterránea es uno de los más importantes para la economía y el ecosistema de la subcuenca Guadalupe, se realizó la descripción del ciclo hidrológico. Para identificar los elementos a cartografiar, se refirieron las etapas de dicho proceso para la región utilizando la teoría de dinámica de sistemas (Barlas, 2007) de la manera siguiente (Figura 1):

#### Flujos de entrada.

*Evaporación.* En la zona estudio, el ciclo hidrológico inicia con la evaporación y brisa marina que ocurre en la costa del Océano Pacífico norte, así como la transpiración de la vegetación nativa caracterizada principalmente por chaparral, así como pequeños parches de matorral rosetófilo costero, bosque de pino y bosque de encino. Esta evaporación sigue el comportamiento de un coeficiente de evapotranspiración desconocido para la zona.

*Precipitación.* El clima de la Región Hidrológica 01 Tijuana-Maneadero se caracteriza por ser de tipo mediterráneo seco con lluvias en invierno. En el área de estudio, el subgrupo climático es de tipo templado con temperatura media anual oscilante entre los 10°C y los 18°C lo que suele provocar que el agua contenida en la atmósfera se precipite durante todo el año -además de las lluvias invernales- en forma de niebla y rocío.

*Infiltración.* La precipitación tiene diferentes destinos definidos por la permeabilidad del terreno. Si la permeabilidad es muy alta, se permite la infiltración mediante la humedad edáfica hacia la vegetación y los mantos freáticos; durante este proceso, la vegetación realiza el proceso de evapotranspiración devolviendo el agua a la atmósfera definido por un coeficiente de evapotranspiración desconocido para la zona. Si la permeabilidad es relativamente baja, el agua escurre hacia los cauces de los arroyos finalizando en el punto exorreico de la cuenca. La infiltración se encuentra definida por la cobertura vegetal, edafología, geología y la pendiente del terreno, así como un coeficiente de infiltración que es desconocido para la zona.



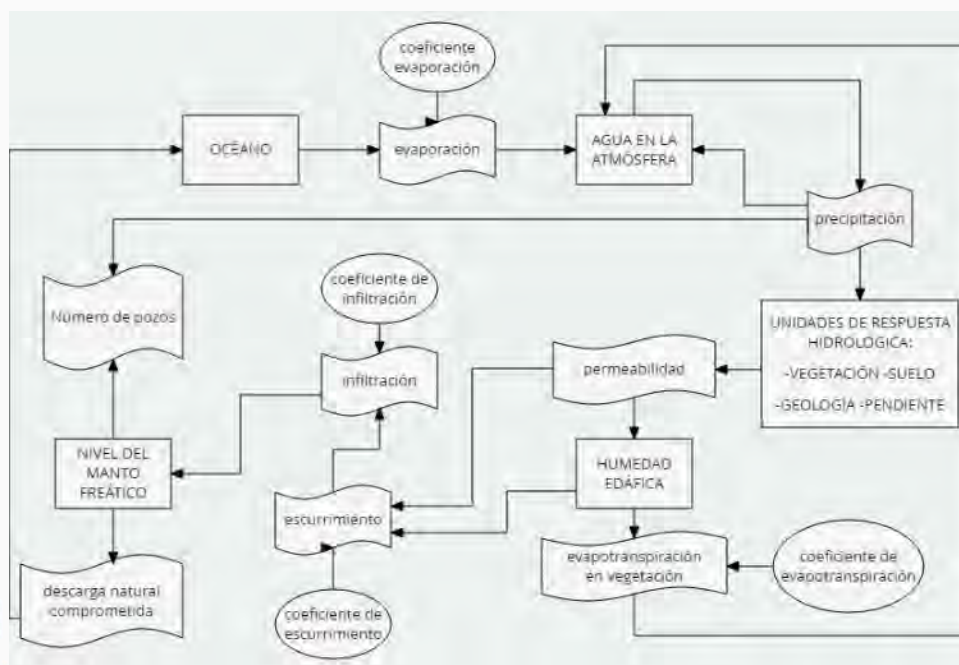


Figura 1. Ciclo hidrológico en la subcuenca Guadalupe. Fuente: Elaboración propia.

### Stocks

**Acuíferos.** En la subcuenca Guadalupe, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) tiene identificados cuatro sitios de almacenamiento de agua subterránea: acuífero La Misión, acuífero Guadalupe, acuífero Ojos Negros y el acuífero Real de Castillo.

### Flujos de salida

**Descarga natural comprometida.** Hace referencia a los flujos de agua que el ecosistema mantiene en el caudal de manantiales, descargas a otros acuíferos y funcionamiento del sistema hídrico superficial y subterráneo.

**Demanda de agua.** En la subcuenca Guadalupe el agua subterránea se extrae mediante pozos con diversos usos y los cuales se encuentran identificados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de CONAGUA.

Ya identificados los elementos del ciclo hidrológico, se determinó que para representar el servicio ecosistémico de provisión de agua subterránea y su comportamiento en el territorio, sería necesario caracterizar y cartografiar los sitios de infiltración (flujo), sitios de provisión de agua subterránea (oferta) y la ubicación de los pozos de aprovechamiento (demanda).

### **Maapeo y caracterización del servicio ecosistémico**

#### Información cartográfica

La metodología utilizada para realizar la cartografía del servicio de provisión de agua se basa en la determinación de unidades de respuesta hidrológica (URH). De acuerdo con Kalcic, Chaubey & Frankenberger (2015) las URH están definidas por todos los usos de la tierra, suelos y pendientes similares dentro de una subcuenca en función de los umbrales definidos por el usuario.

Para ello, se generó un Sistema de Información Geográfica (SIG) donde se realizó la superposición de capas temáticas (Figura 2) así como al álgebra de mapas para la elaboración de las URH. Las capas de información cartográfica seleccionadas se describen en la Tabla 1.



Figura 2. Estructura de la sobreposición de capas temáticas para la generación de Unidades de Respuesta Hídrica  
Fuente: Elaboración propia con base en los atributos de las capas temáticas.

Tabla 1. Capas de información vectorial y ráster para cartografía del servicio de provisión de agua subterránea

INFORMACIÓN VECTORIAL						
Capa	Cartas	Escala	Fuente	Año	Datum	Proyección
Disponibilidad de cuencas hidrológicas	KML Nacional	ND	CONAGUA	2017	WGS84	ND
Disponibilidad de acuíferos	KML Nacional	ND	CONAGUA	2018	WGS84	ND
Hidrología de aguas subterráneas	H11-2. Ensenada	1:250,000	INEGI	1987	NAD 27	UTM
	H11-3. San Felipe					
	I11-11. Tijuana					
	I11-12. Mexicali					
Geología	Continuo Nacional	1:250,000	INEGI	ND	ITRF92	North America Albers Equivalente
Edafología	Continuo Nacional	1:250,000	INEGI	ND	ITRF92	North America Albers Equivalente
Uso de suelo y vegetación	Continuo Nacional serie 6	1:250,000	INEGI	2017	ITRF92	Cónica conforme de Lambert
Aprovechamiento de aguas subterráneas	KML Baja California	ND	REPDA	2017	WGS84	ND
INFORMACIÓN RASTER						
Capa	Estructura	Escala	Fuente	Año	Datum	Proyección
Continuo de elevaciones mexicano	1. grey	15 x 15 m	INEGI	2013	ND	ND

Fuente: Elaboración propia con base en los metadatos de los archivos cartográficos.

Del sitio web de la CONAGUA se obtuvieron los reportes de disponibilidad media anual de agua en los acuíferos de La Misión, Guadalupe, Real de Castillo y Ojos Negros para consultar la recarga total media anual, la



descarga natural comprometida, el volumen de extracción de agua subterránea y la disponibilidad media anual de agua del subsuelo.

### Procesamiento

Debido a que el gradiente altitudinal posee cambios importantes de pendiente en una distancia lineal muy corta a lo largo de la subcuenca, y por razones de simplicidad, no se integró la información de pendientes para la generación de las URH, sin embargo, a partir del modelo digital de elevaciones se procesó el modelo de sombras (hillshade) para visualizar los accidentes geográficos en el terreno. Además, se agruparon aquellos polígonos con áreas menor a un kilómetro cuadrado para evitar el análisis atomizado de información.

Para determinar zonas potenciales de provisión de agua subterránea, fueron seleccionadas todas aquellas URH con la característica de material consolidado con posibilidades altas y medias, para describir el resto de sus características como atributos del servicio ecosistémico en cuestión.

Con el fin de determinar zonas potenciales de infiltración, fueron seleccionadas aquellas URH que no fueron consideradas como prestadoras del servicio ecosistémico, tomando en cuenta la propiedad de permeabilidad que su propia geología y edafología describen en la información cartográfica. Mediante la calculadora de campos, se reclasificó la permeabilidad para homogeneizar sus valores entre permeabilidad baja, permeabilidad alta y permeabilidad media, se realizó la sumatoria de los campos y se generó un nuevo dato de permeabilidad potencial con valores entre cuatro y doce, los cuales fueron reclasificados como se muestra en la Figura 3.

Finalmente para cartografiar las zonas de demanda hídrica, se obtuvieron los datos espaciales de los puntos de aprovechamiento de aguas subterráneas registrados en el REPDA 2017 y se clasificaron por el tipo de uso concesionado.



Figura 3. Proceso de reclasificación de unidades de respuesta hídrica de acuerdo con su potencial de permeabilidad. Fuente: Elaboración propia.

Para el manejo del SIG, se utilizó la proyección UTM zona 11 Norte con el Datum WGS 84 en el software de licencia libre QuantumGIS en sus versiones 2.18 y 3.4, además de hacer uso de la licencia del INEGI en ArcGIS versión 10.7 utilizando el equipo de cómputo del INEGI.

## 3 RESULTADOS

### Área de estudio

Los límites de la subcuenca Guadalupe se establecieron con base a los polígonos definidos en el Diario Oficial de la Federación del 07 de Julio del 2016 y cuyo archivo cartográfico se encuentra disponible en el Sistema Nacional de Información del Agua de CONAGUA (Figura 4, mapa a).

Las zonas funcionales descritas por INEGI (2016) mostradas en la Figura 4, mapa b; indican que la parte alta se caracteriza por una franja con dirección de norte a sur en el extremo este de la cuenca en altitudes que van de los 1,800 a los 900 msnm, donde predominan lomeríos escarpados, sierras, valles intermontanos, bajadas y mesetas; el clima es templado subhúmedo que permite el desarrollo de comunidades vegetales del tipo chaparral y bosque de pino. La zona funcional media comprende de los 900 a los 200 msnm; se caracteriza de sierras altas y bajas, lomeríos escarpados, mesetas, valles, llanuras y depósitos aluviales; el clima es templado subhúmedo en las zonas más elevadas y cambia a mediterráneo hacia la costa vegetación dominante es chaparral y pastizal inducido; la agricultura es de temporal y de riego anual hacia los valles de Guadalupe y Ojos Negros. La zona funcional baja es considerada desde los 200 msnm hasta la línea de costa, donde existen llanuras aluviales, valles

y mesetas basálticas; el clima es seco del subtipo mediterráneo y la vegetación es chaparral, matorral rosetófilo costero y agricultura de temporal (INEGI, 2016).

### Identificación del servicio ecosistémico

Como resultado del procesamiento de la información cartográfica mediante álgebra de mapas, se delimitaron 381 polígonos clasificados en 149 clases de URH definidas por las diferentes combinaciones de atributos referentes a la hidrología de agua subterránea de la zona, su geología, edafología y usos de suelo y vegetación.

#### Zonas de infiltración

Las zonas de infiltración corresponden a una superficie cercana al 89% de la subcuenca descritas en 110 clases sumamente diversas de URH. Visualizando los valores de permeabilidad de las URH (Figura 5 mapa a), podemos observar que las zonas potenciales de infiltración se ubican en las sierras, colinas y montes con presencia de vegetación natural siendo la más abundante el chaparral, seguido de los bosques de bosque de pino y encino, así como matorral rosetófilo costero.

#### Zonas de provisión de agua subterránea

Las zonas de provisión de agua subterránea corresponden a una superficie cercana al 11% de la subcuenca Guadalupe descritas en 39 clases de URH (ver Figura 5, mapa b). La geología de tipo aluvial representa el 10.9% de la superficie de la cuenca considerada como zona de provisión, mientras que el 0.1% restante se caracteriza por rocas ígneas extrusivas de tipo basalto, metamórficas de tipo esquisto, rocas sedimentarias y residuos. Referente a la edafología, existen 19 tipos de combinaciones en tres niveles de suelo, de las cuales destaca el Regosol eútrico con Feozem háplico y Fluvisol eútrico. Las zonas de provisión se caracterizan por ser zonas donde se realizan actividades de agricultura, las cuales abarcan el 9.5% del área identificada como zona de provisión. El resto se encuentra cubierto por vegetación natural como el bosque de pino, vegetación de galería y vegetación secundaria arbustiva de tipo chaparral.

#### Demanda de agua subterránea para aprovechamiento mediante pozo de extracción.

Para determinar si las zonas consideradas por la hidrología subterránea son de aprovechamiento mediante pozo de extracción, se obtuvieron los datos disponibilidad hídrica para los cuatro acuíferos subyacentes en la subcuenca Guadalupe: 1) La Misión, 2) Guadalupe, 3) Real de Castillo y 4) Ojos negros (ver Figura 6, mapa a).

Dado que la demanda del agua subterránea para el uso agrícola es insitu (ver Figura 6, mapa b), la ubicación de los pozos para extracción es muy similar a la ubicación de las zonas de provisión (ver Figura 5), salvo algunos pozos que se ubican en las zonas de alta infiltración.

Clasificando los pozos concesionados al acuífero en el que tienen derecho de extracción, en la tabla 2 podemos observar que para los cuatro acuíferos el principal aprovechamiento es para uso agrícola, seguido de la extracción de agua para uso público urbano, a excepción de Real de Catillo, donde el uso pecuario es el segundo en extracción.

Tabla 2. Volumen concesionado en m<sup>3</sup> y número de pozos por acuífero subyacente en la subcuenca Guadalupe

	La Misión		Guadalupe		Ojos negros		Real del castillo		Total	
Tipos de uso	Volumen	Pozos	Volumen	Pozos	Volumen	Pozos	Volumen	Pozos	Volumen	Pozos
Agrícola	2416954	100	30198085	516	26531981	143	10375879	79	69522899	838
Domestico	4022	20	46744	98	6497	16	3951	6	61214	140
Industrial			196000	5					196000	5
Múltiples	53705	3							53705	3
Pecuario	14263	11	31131	30	16831	14	49892	13	112117	68
Público urbano	4785880	5	6325555	13	164250	2	21900	1	11297585	21
Servicios	302049	5	30905	5					332954	10
ND			60184	2					60184	2
<b>Total</b>	<b>7,576,873</b>	<b>144</b>	<b>36,888,604</b>	<b>669</b>	<b>26,719,559</b>	<b>175</b>	<b>10,451,622</b>	<b>99</b>	<b>81,636,658</b>	<b>1087</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA. ND = No Disponible



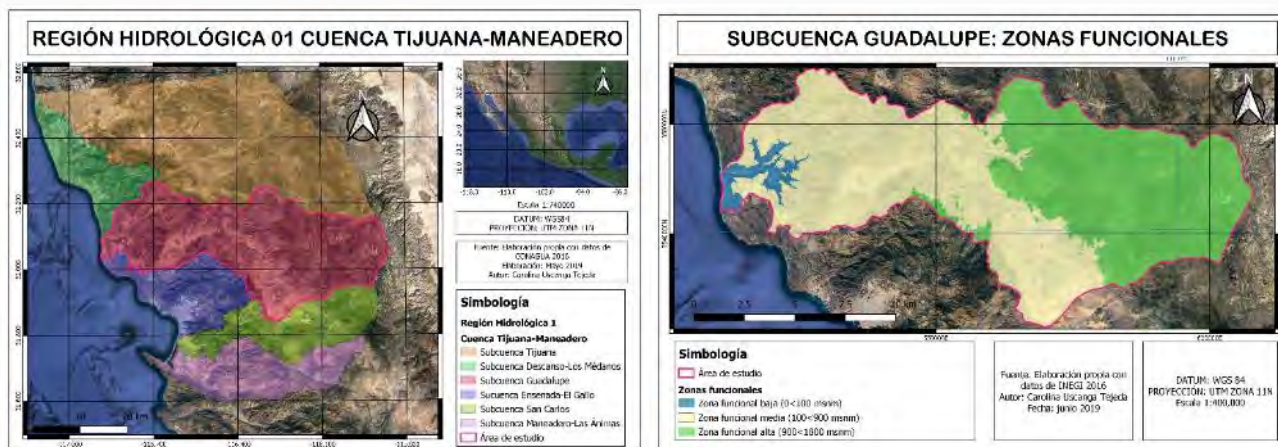


Figura 4. Delimitaciones de la subcuenca Guadalupe.  
 Mapa a) Región Hidrológica Tijuana-Maneadero. Mapa b) Zonas funcionales de la subcuenca Guadalupe.  
 Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2016) y CONAGUA (2017).

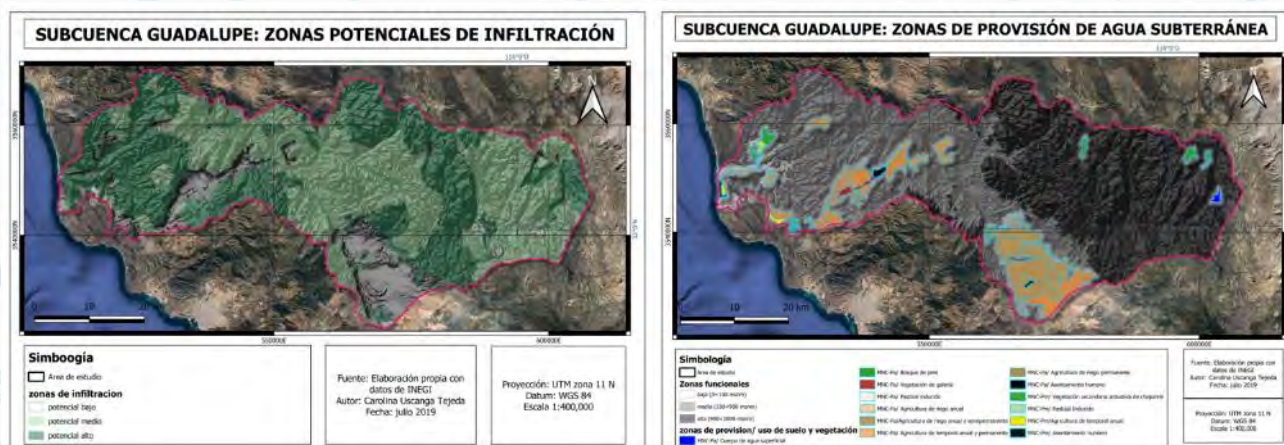


Figura 5. Servicio ecosistémico de provisión de agua subterránea.  
 Mapa a) Zonas potenciales de infiltración (flujo). Mapa b) Zonas de provisión de agua subterránea (oferta).  
 Fuente: Elaboración propia.

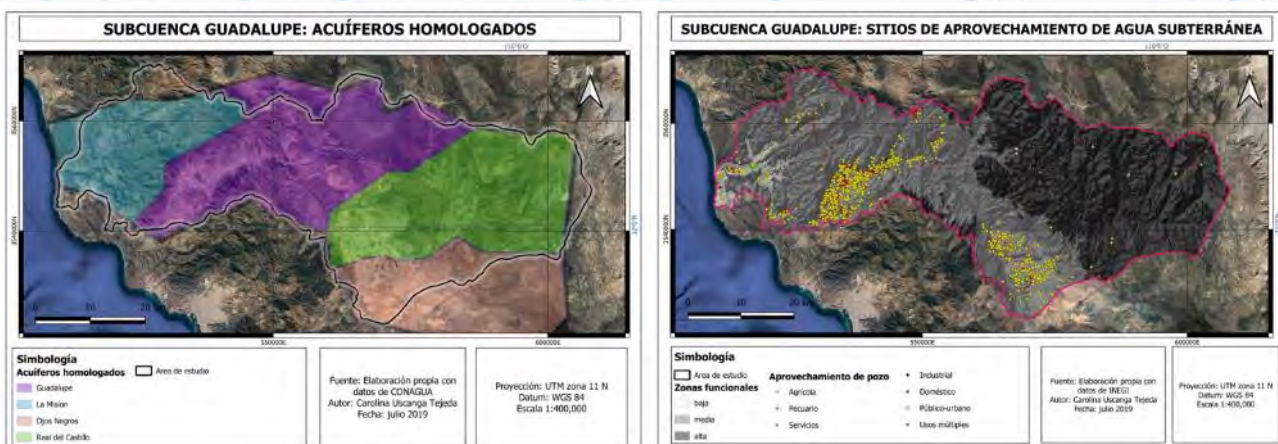


Figura 6. Demanda de agua subterránea para aprovechamiento mediante pozo de extracción.  
 Mapa a) delimitación de acuíferos homologados (límites administrativos). Mapa b) sitios de aprovechamiento de agua mediante pozo (demanda). Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA.



#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo muestra los resultados preliminares de la tesis de maestría desarrollada por Carolina Uscanga Tejeda, que se intitula “*Mapeo y valoración económica en la subcuenca Guadalupe, Baja California, México*” por lo que sólo se expresan como una descripción del socioecosistema desde sus aspectos biofísicos.

El entendimiento de la subcuenca dentro de la RH01, permite reconocer los límites del sistema de acuerdo a la hidrología superficial, rasgo que define las zonas funcionales dentro del área de estudio de acuerdo con INEGI (2016). La generación de URH ayuda a la comprensión de las características de la unidad hidrográfica, pero que por cuestiones de espacio en esta publicación, no pueden ser abordadas de manera analítica.

Los mapas de infiltración y provisión de agua subterránea permitieron diferenciar zonas de flujo y aprovechamiento, mostrando que la zona funcional alta es una de las principales zonas de permeabilidad y pareciera alimentar los acuíferos de Ojos Negros y Real de Castillo en la zona funcional media, así como una marcada diferencia entre el potencial medio de infiltración hacia el acuífero Guadalupe e incrementando hacia el punto exorreico en La Misión. Los sitios de provisión pueden ser identificados por las zonas de cultivos a lo largo de la cuenca.

Los límites mostrados por CONAGUA referente a los acuíferos homologados carecen de compatibilidad con los límites de la subcuenca, por lo que las áreas de provisión no coinciden con las unidades político-administrativas de los acuíferos, en los que se determina la contabilidad de captación fluvial. Este resultado es de esperarse considerando que la delimitación de cuencas sigue criterios de hidrología superficial, mientras que las características que definen el comportamiento de los acuíferos siguen otros criterios, y cuya definición no es objetivo de esta investigación.

Para los próximos pasos de este proyecto, se espera lograr la cartografía de otros servicios ecosistémicos hídricos, su caracterización biofísica, socioecológica y posterior valoración económica.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Francisco Javier Jiménez Nava, al Biól. José Luis Ornelas de Anda y al Biól. Amós Antonio López Pérez de la Dirección General Adjunta de Recursos Naturales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) por la asesoría metodológica, disponibilidad de datos y facilidades brindadas durante la Estancia de Investigación realizada en los meses de junio-julio del 2019 con el proyecto “Aplicación del Modelo Dinámico”.

A los integrantes del proyecto *Evaluación de riesgos bioeconómicos debido a la sobreexplotación de acuíferos en regiones áridas y costeras, urbanas y agrícolas*, liderado por la Universidad Autónoma de México en conjunto con la Universidad Técnica de Braunschweig (Alemania) y la Universidad Autónoma de Baja California por incluirme en su equipo de investigación; así como a la Fundación Río Arronte por su apoyo en el proyecto *Formulación y adopción de un plan de manejo de la cuenca Guadalupe, Ensenada, Baja California*.

#### 6. LITERATURA CITADA

Barlas, Y. (2007). System dynamics: systemic feedback modeling for policy analysis. System, 1(59). Disponible en

[http://gu.friendspartners.org/Global\\_University/Global%20University%20System/List%20Distributions/2011/M12233\\_20110311/SYSTEM%20DYNAMICS\\_%20SYSTEMIC%20FEEDBACK%20MODELING%20FOR%20POLICY%20ANALYSIS%20copy/SYSTEM%20DYNAMICS\\_%20SYSTEMIC%20FEEDBACK%20MODELING%20FOR%20POLICY%20ANALYSIS.pdf](http://gu.friendspartners.org/Global_University/Global%20University%20System/List%20Distributions/2011/M12233_20110311/SYSTEM%20DYNAMICS_%20SYSTEMIC%20FEEDBACK%20MODELING%20FOR%20POLICY%20ANALYSIS%20copy/SYSTEM%20DYNAMICS_%20SYSTEMIC%20FEEDBACK%20MODELING%20FOR%20POLICY%20ANALYSIS.pdf)

Burkhard, B., & Hou, Y. (2014). Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification, (June). <https://doi.org/10.3097/LO.201434>

Comisión Nacional del Agua (2017). Registro Público de Derechos de Agua. Base de datos consultada en abril 2018. Disponible en <http://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016). Estudio de información integrada de la Cuenca Río Tijuana y otras. México: INEGI.



- Jacobs, S., Burkhard, B., Van Daele, T., Staes, J., & Schneiders, A. (2015). “The Matrix Reloaded”: A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecological Modelling*, 295, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.024>
- Kalcic, M. M., Chaubey, I., & Frankenberger, J. (2015). Defining Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrologic response units (HRUs) by field boundaries. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(3), 69-80
- Khosravi Mashizi, A., Heshmati, G. A., Salman Mahini, A. R., & Escobedo, F. J. (2019). Exploring management objectives and ecosystem service trade-offs in a semi-arid rangeland basin in southeast Iran. *Ecological Indicators*, 98(December 2018), 794–803. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.065>
- Laterra, P., Jobbágy, E. G., Paruelo, J. M., Abdo, M., Achinelli, M. L., Alcaraz-Segura, D., & Zamora, J. P. (2015). Valoración de servicios ecosistémicos en Argentina <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ma, L., Bicking, S., & Müller, F. (2019). Mapping and comparing ecosystem service indicators of global climate regulation in Schleswig-Holstein, Northern Germany. *Science of the Total Environment*, 648, 1582–1597. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.274>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being. *Ecosystems* (Vol. 5). <https://doi.org/10.1196/annals.1439.003>
- Naciones Unidas (2012). Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica para el agua (SCAE-Agua). Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Estadística. Disponible en [http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaw/seea\\_w\\_spa.pdf](http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaw/seea_w_spa.pdf)
- O’Higgins, T., Nogueira, A. A., & Lillebø, A. I. (2019). A simple spatial typology for assessment of complex coastal ecosystem services across multiple scales. *Science of the Total Environment*, 649, 1452–1466. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.420>
- Rova, S., Pastres, R., Zucchetto, M., & Pranovi, F. (2018). Ecosystem services’ mapping in data-poor coastal areas: Which are the monitoring priorities? *Ocean and Coastal Management*, 153(March 2017), 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.11.021>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Cuadernos de divulgación ambiental. Disponible en línea.
- System of Environmental Economic Accounting (2018). NATURAL CAPITAL ACCOUNTING AND VALUATION OF ECOSYSTEM SERVICES PROJECT MEXICO – Country Assessment Report. United Nations.
- Turpie, J. K., Forsythe, K. J., Knowles, A., Blignaut, J., & Letley, G. (2017). Mapping and valuation of South Africa’s ecosystem services: A local perspective. *Ecosystem Services*, 27(May), 179–192. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.008>